

# **Formalisierte Terminologien**

## **technischer Systeme und ihrer Zuverlässigkeit**

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von:	Dipl. Wirtsch.-Ing. Lars Schnieder
aus (Geburtsort):	Neumünster
eingereicht am:	12. Juni 2009
mündliche Prüfung am:	27. Oktober 2009
Referenten:	Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer Prof. Dr. Martin Neef Prof. Dr. Mark Vollrath

2010

# **Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik**

## **Band 10**

### **Formalisierte Terminologien technischer Systeme und ihrer Zuverlässigkeit**

**Lars Schnieder**

**Herausgeber:**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

**ISSN 1866-721X**

DLR-TS 1.10

Braunschweig, im März 2010

Institutsdirektor:  
Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer

Verfasser:  
Lars Schnieder



# Vorwort des Herausgebers

Liebe Leserinnen und Leser,

In Ihren Händen halten Sie einen Band unserer Buchreihe „Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik“. In dieser Reihe veröffentlichen wir spannende, wissenschaftliche Themen aus dem Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und aus seinem Umfeld. Einen Teil der Auflage stellen wir Bibliotheken und Fachbibliotheken für ihren Buchbestand zur Verfügung. Herausragende wissenschaftliche Arbeiten und Dissertationen finden hier ebenso Platz wie Projektberichte und Beiträge zu Tagungen in unserem Hause von verschiedenen Referenten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik.

Mit dieser Veröffentlichungsreihe verfolgen wir das Ziel, einen weiteren Zugang zu wissenschaftlichen Arbeiten und Ergebnissen zu ermöglichen. Wir nutzen die Reihe auch als praktische Nachwuchsförderung durch die Publikation der wissenschaftlichen Ergebnisse von Dissertationen unserer Mitarbeiter und auch externer Doktoranden. Veröffentlichungen sind wichtige Meilensteine auf dem akademischen Berufsweg. Mit der Reihe „Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik“ erweitern wir das Spektrum der möglichen Publikationen um einen Baustein. Darüber hinaus verstehen wir die Kommunikation unserer Forschungsthemen als Beitrag zur nationalen und internationalen Forschungslandschaft auf den Gebieten Automotive, Bahnsysteme und Verkehrsmanagement.

In der vorliegenden Dissertation wird die Auswirkung von Sprache auf die Kommunikation in der industriellen Praxis untersucht. Da Sprache nicht eindeutig ist, kommt es bei der Kommunikation unterschiedlicher Fachrichtungen immer wieder zu Missverständnissen. Zur Schaffung einer einheitlichen Terminologie ist eine Vorgehensweise erforderlich, die Fachwörter normiert und so eine einheitliche Definition liefert. Auf Basis einer methodischen Grundlage zur eindeutigen Festlegung von Termini wird hier ein Terminologiemanagementsystem entwickelt, das zum Gelingen auch fachübergreifender Kommunikation in einem industriellen Umfeld beiträgt. Verdeutlicht wird dies am Beispiel der Kommunikation in der Spezifikation von Systemen der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik.

Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer



# Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand parallel zu meiner beruflichen Tätigkeit bei Siemens Industry Mobility Rail Automation in Braunschweig.

Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer, Leiter des Instituts für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig, als meinem Doktorvater für die intensive und wohlwollende Betreuung und Förderung meiner Arbeit. Über die fachlichen Gespräche hinaus hat mich der vertrauensvolle Gedankenaustausch in meiner persönlichen und beruflichen Entwicklung bereichert.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Prof. Dr. Martin Neef und Herrn Prof. Dr. Mark Vollrath für die Übernahme der Koreferate sowie die angenehme und konstruktive Begleitung meines Promotionsvorhabens mit vielen Hinweisen und Anregungen. Die gemeinsamen Gespräche über die Perspektiven der Sprachwissenschaften und Psychologie haben mich inspiriert und schlagen sich im interdisziplinären Charakter dieser Arbeit nieder.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik der Technischen Universität Braunschweig bedanken, die in der Endphase meiner Arbeit zum Gelingen beigetragen haben. Besonders hervorheben möchte ich hierbei Herrn Arno G. Schielke und Herrn Christian Stein, deren Freude und Bereitschaft zur Diskussion sich als eine wesentliche Triebfeder wissenschaftlicher Erkenntnis herausgestellt haben. Die angenehme und herzliche Atmosphäre im Institut werde ich stets in guter Erinnerung behalten.

Meinen Führungskräften der Siemens AG gebührt Dank, dass sie meinem berufsbegleitenden Promotionsvorhaben in den zurückliegenden Jahren mit Verständnis und Unterstützung begegnet sind.

Meiner Familie möchte ich für die gewährte Unterstützung und das stete Interesse an meiner Arbeit danken. Meiner Frau Juliane gilt mein ganz besonderer Dank, da sie mich in den letzten Jahren mit viel Liebe und Geduld unterstützt hat. In schwierigen Phasen meiner Arbeit hat sie mich stets motiviert und mir viel Verständnis entgegen gebracht.

Lars Schnieder



# Inhaltsverzeichnis

- Vorwort des Herausgebers..... iii**
- Vorwort des Autors ..... v**
- Abbildungsverzeichnis..... xi**
- Tabellenverzeichnis..... xiii**
- Kurzfassung..... xv**
- Abstract..... xvii**
- 1 Ziel und Problemstellung ..... 1**
  - 1.1 Ziel der Arbeit ..... 1
  - 1.2 Struktur der Arbeit ..... 2
  - 1.3 Bedeutung und Probleme der Kommunikation..... 5
    - 1.3.1 Intra- und interpersonelles Kommunikationsmodell ..... 6
    - 1.3.2 Kommunikationsprobleme ..... 7
    - 1.3.3 Kommunikations- und Transaktionskosten ..... 8
  - 1.4 Terminologienormung als Grundlage technischer Verständigung ..... 9
    - 1.4.1 Bedeutungszuwachs der Terminologienormung ..... 9
    - 1.4.2 Herausforderungen der Terminologienormung..... 11
- 2 Stand der Wissenschaft und Technik und Ansatz der Arbeit..... 13**
  - 2.1 Stand der Wissenschaft und Technik..... 13
    - 2.1.1 Stand der Terminologiegrundnormung ..... 13
    - 2.1.2 Stand der Terminologie technischer Systeme ..... 15
    - 2.1.3 Stand der Terminologie der Verlässlichkeit ..... 16
  - 2.2 Ansatz der Arbeit ..... 18
    - 2.2.1 Modellbasiertes Informationsmanagement..... 18
    - 2.2.2 Terminologiemanagement ..... 19
    - 2.2.3 Ansatz der formalisierten Bedeutungsfestlegung ..... 21
    - 2.2.4 Kommunikationseffizienz durch Werkzeugunterstützung ..... 22
- 3 Fachsprachliche Bedeutungsfestlegung durch Integration  
formalisierter Termini ..... 23**
  - 3.1 Anforderungen an einen methodischen Ansatz..... 24
    - 3.1.1 Phasenübergreifende Integration der Sichten ..... 24



3.1.2	Modellbasierte Entwicklung .....	26
3.1.3	Terminologische Stringenz .....	28
3.2	Methodische Modellbildung .....	30
3.2.1	Semiotische Dimension von Modellen .....	30
3.2.2	Vorgehensweise der methodischen Modellbildung .....	32
3.2.3	Formalisierung durch Beschreibungsmittel .....	34
3.2.4	Werkzeugunterstützung .....	35
3.3	Herleitung des methodischen Ansatzes .....	36
3.3.1	Vorgehensmodell der formalisierten Bedeutungsfestlegung .....	37
3.3.2	Formalisierungskonzept: Klassendiagramme und Petrinetze .....	42
3.3.3	Integrationskonzept .....	47
3.3.4	Verifikationsansatz .....	48
<b>4</b>	<b>Formalisierung des Terminus als metasprachliches Modell .....</b>	<b>51</b>
4.1	Der Terminus und seine Konstituenten .....	52
4.2	Bezeichnung (Signifikant) .....	54
4.3	Begriff (Signifikat) .....	56
4.3.1	Intension .....	56
4.3.2	Relationen in Terminologiegebäuden .....	62
4.3.3	Extension .....	70
4.3.4	Definition .....	70
4.4	Dynamik fachsprachlicher Semantik .....	72
4.4.1	Varietätsbezug fachsprachlicher Semantik .....	72
4.4.2	Diachrone Perspektive fachsprachlicher Semantik .....	75
4.5	Formalisierung von Geschehnissen .....	76
4.5.1	Reversitätsrelation .....	77
4.5.2	Komplementäre Integration auf Beschreibungsmitelebene .....	78
4.6	Terminologiegebäude .....	80
<b>5</b>	<b>Formalisierung und Instanziierung generischer Modellkonzepte ....</b>	<b>87</b>
5.1	Modellkonzept des Systems .....	87
5.1.1	Definition und Systemeigenschaften .....	87
5.1.2	Abstraktionshierarchie des Systems – Selbstähnlichkeit .....	89
5.1.3	Emergenz .....	90
5.2	Funktions- und Ressourcenallokation .....	92
5.2.1	Der Ressourcenbegriff .....	93
5.2.2	Allokation .....	93

5.2.3	Partitionierung .....	94
5.2.4	Konfiguration .....	95
5.3	Instanziierung leittechnischer Systeme .....	96
5.3.1	Dekomposition technologieinvarianter Sicherungsfunktionen .....	97
5.3.2	Strukturierung anwendungsunabhängiger Ressourcen .....	97
5.3.3	Integration von Funktionseinheiten und Funktionsträgern .....	100
<b>6</b>	<b>Modellierung einer formalisierten Terminologie zur Verlässlichkeit</b>	<b>103</b>
6.1	Defizite terminologischer Festlegungen in den technischen Normen .....	103
6.1.1	Synonyme Verwendung von Benennungen .....	103
6.1.2	Inkonsistenz terminologischer Festlegungen .....	104
6.1.3	Semantische Vagheit terminologischer Festlegungen .....	107
6.1.4	Domänenspezifität terminologischer Festlegungen .....	107
6.1.5	Verletzung der Grundsätze der Definitionserstellung .....	109
6.1.6	Unverständlichkeit terminologischer Festlegungen .....	110
6.1.7	Fazit .....	111
6.2	Instanziierung der Zuverlässigkeit .....	111
6.3	Instanziierung der Instandhaltbarkeit .....	114
6.3.1	Mittlere Zeit bis zur Wiederherstellung .....	115
6.3.2	Bedeutung der Diagnose .....	116
6.3.3	Mittlere Unklarzeit .....	117
6.4	Integration der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit zur Verfügbarkeit .....	119
6.5	Explikation des Sicherheitsbegriffs .....	121
6.5.1	Risiko als abgeleitete Größe .....	121
6.5.2	Vorgehensweise der Risikobearbeitung .....	123
6.5.3	Sicherheit als emergente und generische Eigenschaft .....	124
6.5.4	Schutz der Umwelt vor Systemauswirkungen (Safety) .....	125
6.5.5	Schutz des Systems vor Fremdeinwirkungen (Security) .....	127
6.6	Kontrolliertes zweisprachiges Vokabular der Sicherheit .....	129
6.6.1	Deutschsprachiges kontrolliertes Vokabular .....	130
6.6.2	Englischsprachiges kontrolliertes Vokabular .....	131
<b>7</b>	<b>Konzeption und Implementierung eines integrativen Terminologiemanagementsystems</b>	<b>133</b>
7.1	Repräsentation und Organisation von Terminologien .....	133
7.1.1	Repräsentationsmedien von Terminologien .....	134
7.1.2	Organisationsformen von Terminologien .....	138
7.2	Entwurf eines integrativen Terminologiemanagements .....	140

7.2.1	Terminologiemangementprozess.....	141
7.2.2	Terminologie im Dokumentenlebenslauf .....	142
7.2.3	Kooperativer Verbund sprachtechnologischer Werkzeuge .....	143
7.3	Anwenderrollen und ihre funktionalen Anforderungen .....	146
7.3.1	Rolle des Terminologen .....	147
7.3.2	Rolle des Administrators .....	149
7.3.3	Rolle des Informationssuchenden.....	149
7.3.4	Allgemeine Anforderungen .....	150
7.4	Realisierungskonzept eines Terminologiemangementssystems .....	151
7.4.1	Architekturkonzept.....	151
7.4.2	Eingabe eines Terminus .....	153
7.4.3	Relationieren eines Terminus.....	154
7.4.4	Realisierung des Varietätsbezugs der Termini .....	155
7.4.5	Realisierung der Versionierung.....	155
7.4.6	Realisierung der Rekursivität des Zeichenmodells.....	157
7.4.7	Zusätzliche Lexemattribute .....	160
<b>8</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>161</b>
8.1	Zusammenfassung .....	161
8.2	Ausblick .....	163
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>167</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>169</b>
	Normen, Richtlinien und Gesetze.....	169
	Weitere Fachliteratur .....	175

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Aufbau und Struktur der Arbeit .....	4
Abbildung 1-2: Kommunikation im Lebenslauf der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik .....	5
Abbildung 1-3: Hierarchische Strukturierung der Sprachproduktion und -rezeption .....	6
Abbildung 2-1: Modellbildung als Kern des Informationsmanagements .....	18
Abbildung 2-2: Terminologie- und Informationsmanagement[DIN03b] .....	20
Abbildung 3-1: Sichten im Lebenslauf am Beispiel von Bahnanlagen in Anlehnung an [DIN03b] .....	24
Abbildung 3-2: Anforderungen an einen modellbasierten Entwicklungsprozess .....	27
Abbildung 3-3: Das semiotische Dreieck nach [OR74] .....	31
Abbildung 3-4: Vorgehensweise der Modellbildung .....	33
Abbildung 3-5: Formalisierungsgrade von Beschreibungsmitteln .....	35
Abbildung 3-6: Vorgehensmodell der formalisierten Bedeutungsfestlegung .....	37
Abbildung 3-7: Klassendiagramme als Beschreibungsmittel für die Terminologieanalyse .....	44
Abbildung 3-8: Petrinetze als Beschreibungsmittel für die Terminologieanalyse .....	46
Abbildung 4-1: Metasprachliches Modell des Terminus .....	54
Abbildung 4-2: Die Bezeichnung als Konstituente des Terminus .....	55
Abbildung 4-3: Attributhierarchie der Intension .....	59
Abbildung 4-4: Probabilistische Merkmalswerte .....	61
Abbildung 4-5: Relationen in Terminologiegebäuden (Semantik) .....	62
Abbildung 4-6: Relationen zwischen Termini .....	63
Abbildung 4-7: Mehrdeutigkeiten in der synchronen und diachronen Sprachbetrachtung .....	65
Abbildung 4-8: Relation zwischen Benennungen (Äquivalenzrelation) .....	69
Abbildung 4-9: Definition als Konstituente des Begriffs .....	72
Abbildung 4-10: Darstellung der Reversitätsrelation in Petrinetzen .....	77
Abbildung 4-11: Integration statischer und dynamischer Aspekte des Begriffs .....	79
Abbildung 4-12: Der Terminus innerhalb eines Terminologiegebäudes .....	80
Abbildung 4-13: Charakteristika verschiedener Formen der Wissensrepräsentation .....	81
Abbildung 5-1: Eigenschaften des Systems .....	88
Abbildung 5-2: Strukturelle Selbstähnlichkeit von Systemen .....	89
Abbildung 5-3: Instanziierung des Modellkonzepts des Systems in formaler Darstellung .....	90
Abbildung 5-4: Emergenz im Kontext der Abstraktionshierarchie von Systemen (Klassendiagramm) .....	91
Abbildung 5-5: Emergenz im Kontext der Abstraktionshierarchie von Systemen (Petrinetz) ..	92

Abbildung 5-6: Ansatz eines Terminologiegebäudes für die Allokation und Partitionierung.. 95

Abbildung 5-7: Gegenüberstellung von Funktion und Ressource auf der Basis von Attributen  
..... 96

Abbildung 6-1: Domänenspezifische Verständnisse der Sicherheitsintegrität ..... 108

Abbildung 6-2: Gegenüberstellung der Definitionen von Eigenschaften der Verlässlichkeit. 110

Abbildung 6-3: Instanziierung statischer und dynamischer Aspekte des Zuverlässigkeitsbegriffs  
..... 114

Abbildung 6-4: Grundlegende Zeitanteile der Instandhaltung..... 115

Abbildung 6-5: Teilaufgaben der aktiven Instandsetzung..... 117

Abbildung 6-6: Instanziierung statischer und dynamischer Aspekte des  
Instandhaltungsbegriffs ..... 118

Abbildung 6-7: Integration der Teil-Terminologiegebäude der Zuverlässigkeit und der  
Instandhaltbarkeit ..... 119

Abbildung 6-8: Verfügbarkeit als Eigenschaft auf verschiedenen Emergenzniveaus ..... 120

Abbildung 6-9: Terminologischer Zusammenhang zwischen Risiko und Schaden ..... 122

Abbildung 6-10: Vorgehensweise der Risikobearbeitung ..... 124

Abbildung 6-11: Sicherheit als emergente Eigenschaft ..... 125

Abbildung 6-12: Wirkmodell des Schadensablaufs - Sicherheit ..... 127

Abbildung 6-13: Wirkmodell des Schadensablaufs - Sicherheit gegen Fremdeinwirkungen 128

Abbildung 7-1: Tätigkeiten im Terminologiemanagementprozess ..... 141

Abbildung 7-2: Tätigkeiten im Dokumentenlebenslauf ..... 142

Abbildung 7-3: Integratives Terminologiemanagement (Ablaufmodell) ..... 144

Abbildung 7-4: Anbindung des IGLOS an Werkzeuge der Sprachtechnologie ..... 146

Abbildung 7-5: Ableitung der Benutzerrollen aus dem Informationsmanagmentprozess ... 147

Abbildung 7-6: Architekturkonzept des IGLOS ..... 152

Abbildung 7-7: Eingabe eines Terminus in das IGLOS mit Bezug auf das trilaterale  
Zeichenmodell..... 153

Abbildung 7-8: Relationierung von Termini im IGLOS ..... 154

Abbildung 7-9: Ausschnitt eines Terminologiegebäudes im IGLOS ..... 155

Abbildung 7-10: Darstellung eines terminologischen Eintrags im IGLOS..... 155

Abbildung 7-11: Versionsmanagement im IGLOS ..... 157

Abbildung 7-12: Rekursivität des IGLOS – Die Varietat als Terminus..... 157

Abbildung 7-13: Rekursivität von Varietäten im IGLOS ..... 159

Abbildung 8-1: Erweiterung des IGLOS ..... 165

Abbildung 8-2: Prinzip der semantischen Anreicherung durch Annotation..... 166

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Sichere Rechner der Siemens AG für Bahnanwendungen..... 98

Tabelle 5-2: Terminologische Präzisierung durch Merkmale, Größen und Werte..... 99

Tabelle 5-3: Entwicklung der Funktionsimplementierung bei fortschreitender Entwicklung  
technischer Ressourcen [Mül07]..... 101

Tabelle 6-1: Synonymie im Terminologiefeld der Sicherheit..... 104

Tabelle 6-2: Logische Inkonsistenzen zwischen Benennung und Definition..... 104

Tabelle 6-3: Widersprüche zwischen verschiedenen Definitionen ..... 105

Tabelle 6-4: Inkongruente Umfänge des Verlässlichkeitsbegriffs..... 106

Tabelle 6-5: Deutschsprachiges kontrolliertes Vokabular der Sicherheit ..... 130

Tabelle 6-6: Englischsprachiges kontrolliertes Vokabular der Sicherheit ..... 131

Tabelle 7-1: Vergleich von Terminologien im Schienenverkehr ..... 134



## Kurzfassung

Der Lebenslauf eines technischen Systems erstreckt sich von dessen Planung über den Betrieb bis hin zur Außerbetriebnahme und seinem Rückbau. Währenddessen tauschen Fachleute mit verschiedenen Ausbildungs- und Erfahrungshintergründen Informationen über Betriebsprozesse und die Produkte aus. Ohne ein gemeinsames Terminologiegebäude können Aufgaben nicht gemeinschaftlich gelöst werden, da nur ein gleiches Verständnis zueinander passendes Handeln ermöglicht. Existierende Ansätze der Terminologiarbeit erfüllen die Ansprüche an eine eindeutige, widerspruchsfreie, präzise, mehrsprachige und domänenübergreifende terminologische Basis allerdings nicht.

Um einen reibungslosen Ablauf der gewerkeübergreifenden Zusammenarbeit über den gesamten Lebenslauf technischer Systeme zu ermöglichen, müssen die Grenzfälle und Unschärfen bestehender Terminologieabbildungen gelöst werden. Die in dieser Arbeit ausgearbeitete methodische Grundlage besteht in einer eindeutigen Festlegung von Termini durch die durchgängige Nutzung einheitlicher formaler Beschreibungsmittel. Auf dieser Basis aufbauend wird die Basisterminologie der leittechnischen Modellwelt beschrieben, welche das Fundament für eine weitergehende Modellbildung darstellt.

Die im Rahmen dieser Arbeit konzipierte Vorgehensweise wird auf die Modellierung eines formalisierten Terminologiegebäudes zur Verlässlichkeit technischer Systeme angewendet. Die einzelnen Termini werden hierbei durch ein Netz zwischen ihnen bestehender Bedeutungsbeziehungen abgebildet und so zu einem neuen Terminologiegebäude zusammengefügt. Gleichwertige Benennungen werden identifiziert und somit ein Beitrag zur Eindeutigkeit des Fachvokabulars geleistet.

Da es sich bei Sprache um ein komplexes Phänomen handelt, kommt einer Werkzeugunterstützung eine große Bedeutung zu. In dieser Arbeit wird ein Terminologiemanagementsystem konzipiert, welches die Sprache in ihrer Komplexität abzubilden vermag und somit über eine bloße Auflistung von Bezeichnungen und den ihnen zugeordneten Definitionen hinausgeht. Es erlaubt die verteilte Erarbeitung und Abstimmung eines Fachwortschatzes in der Normungsarbeit und in der industriellen Praxis und ermöglicht dort eine fachübergreifende Kommunikation, wo bisher nur Unverständnis, Missverständnis und Ablehnung bestanden.





# Abstract

The life cycle of technical systems starts with their specification and implementation, continues with their operation and ends with their decommissioning and removal. In the course of this workflow experts with different educational backgrounds and experiences exchange information about the operational process and the products. The tasks can not be adequately performed without a shared conceptualization. Only a common understanding allows for coordinated and coherent action. Existing approaches can not fulfill the unambiguous, consistent, precise, multilingual conceptualization across different domains.

In order to allow for an unobstructed interdisciplinary cooperation during the life cycle of technical systems a harmonization of heterogeneous information is required. The fuzziness of currently existing terminology representations needs to be overcome. The methodical framework to do this is developed in this work. The formalization of unambiguously defined technical terms is supported by the integrated use of formal means of description in all phases of the life cycle. Based on this formal approach the basic terms and definitions of control technology can be described. A standardized and well defined vocabulary is the basis for subsequently defined concepts and models.

The methodical approach outlined in this work is applied to the modelling of a formalized concept system of the dependability of technical systems. The individual concepts will be identified. The existing semantic relations among them become obvious as they constitute a network structure. Due to the systematic approach equivalent designations for identical concepts can be identified and the currently existing frequent use of synonyms avoided. This helps to overcome the existing problems and improves communication across the domains significantly.

As language is a complex phenomenon tool support is of utmost importance. This work lays the basis for a terminology management system which can model various facets of language and thus goes far beyond the scope and expressiveness of currently existing terminology management systems. The terminology management system introduced allows for the distributed and collaborative development of a terminology in standardization as well as in industrial applications. It allows for cross-domain communication which was previously hampered by incomprehension, misconceptions and denial.



# 1 Ziel und Problemstellung

Kommunikation ist im gesamten Lebenslauf technischer Systeme entscheidend. Dazu gehören alle Phasen von der Systemkonzeption über die Entwicklung bis zum Betrieb. Kommunikation bedeutet dabei den Austausch von Information zwischen allen am Lebenslauf Beteiligten und schließt die Kommunikation zwischen Personen untereinander, Personen und technischen Systemen sowie zwischen technischen Systemen untereinander ein. Kommunikation heißt dabei, dass die Informationen in der Wirkungsrichtung vom Sender zum Empfänger in der beabsichtigten Weise interpretiert wird, was eine hohe Übereinstimmung zwischen Sender und Empfänger erfordert. Missverständnisse in der Kommunikation können Schäden hervorrufen, die Vertrauensverluste, physische wie finanzielle Verluste oder Umwelt- und weitere Schäden umfassen, die mehr oder weniger qualifizierbar und quantifizierbar sind. Schäden jedweder Natur zu vermeiden ist ein moralischer und sozialer Wert. Dieser gipfelt im Anspruch, Sicherheit zu entwickeln. Sicherheit erfordert eine fehlerfreie Kommunikation, und somit ein übereinstimmendes Verständnis von Termini im Umgang mit technischen Systemen. Dazu dienen Normen im Sinne anerkannter Regeln der Technik, welche sowohl im Rahmen der Sachnormung Festlegungen zu technischen Sachverhalten und Prozessen im gesamten Lebenslauf enthalten, als auch im Rahmen der Terminologienormung verbindliche Regeln für die Sprachproduktion und -rezeption spezifizieren. Sicherheit als gesellschaftlicher Wert ist in normativen Regelwerken mit unterschiedlicher Detaillierung codifiziert. Ihre Gewährleistung durch die Rechtsprechung, ihre technische Realisierung und den gefahrlosen Betrieb ist daher an zum Teil hochgradig ausdifferenzierte Regularien gebunden. Im Detail weisen die verwendeten Terminologiegebäude jedoch Defizite auf, die zur Erhöhung des Stands der Sicherheit zwingend behoben werden müssen.

Im Rahmen dieses einführenden Kapitels wird das Ziel dieser Arbeit erläutert und ihre Struktur dargestellt. Aus der Bedeutung und den Problemen der Kommunikation heraus wird die Motivation dieser Arbeit deutlich. Terminologienormung dient als Grundlage technischer Verständigung. Ihre zunehmende Bedeutung und die aktuell bestehenden Herausforderungen beschreiben die dieser Arbeit zu Grunde liegende Problemstellung.

## 1.1 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die methodische Grundlage zur Formalisierung und Disambiguierung der Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme durch ein aufeinander abgestimmtes Zusammenwirken formaler Beschreibungsmittel, eines methodischen Vorgehens und Werkzeugen zu entwickeln. Mit dieser Methode kann ein vorhandener Fachwortschatz und damit zusammenhängend das verfügbare Wissen über ein komplexes Technikgebiet geordnet und formalisiert werden. Diese systematische Vorgehensweise hat zum Ziel, den Gegenstandsbereich der Verlässlichkeit technischer Systeme zu strukturieren und ein konsistentes Terminologiegebäude der Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit zu entwickeln, welches den folgenden Ansprüchen genügt:

- *Disambiguität*: Die gegenwärtigen durch die fehlende Eindeutigkeit der Terminologie entstehenden Probleme sollen gelöst werden. Dies umfasst neben der Auflösung von Doppel- oder Mehrdeutigkeiten auch die Beherrschung von Mehrfachbenennungen, indem Synonyme ausgewiesen und Vorzugsbenennungen festgelegt werden (terminologische Kontrolle).
- *Konsistenz*: Logische Inkonsistenzen innerhalb der terminologischen Festlegungen sollen durch einen modellbasierten Ansatz offenbart werden. Hierfür werden, falls notwendig, neue widerspruchsfreie Benennungen vorgeschlagen und Definitionen angepasst.
- *Präzision*: Eine terminologische Klärung soll erreicht werden, indem Klarheit über die Menge aller Elemente geschaffen wird, die ein Ausdruck bezeichnet (Extension) oder eine Abgrenzung über die Menge unterscheidender Merkmale vorgenommen wird (Intension). Zur eindeutigen Festlegung der unterscheidenden Merkmale wird eine terminologische Klärung bis auf die Ebene prognostizierbarer oder empirisch beobachtbarer Größen und Werte angestrebt.
- *Mehrsprachigkeit*: Durch den Aufbau eines mehrsprachigen Terminologiegebäudes sollen Termini selbst hinsichtlich ihres Umfangs und ihrer Stellung innerhalb des Terminologiegebäudes strukturiert werden. Dies erlaubt die Harmonisierung ihrer Benennungen und Definitionen. Probleme im internationalen fachsprachlichen Kontext werden somit vermieden.
- *Domänen-Integration*: Interdisziplinäre Projekte sollen bei einem kollaborativen Aufbau eines konsistenten projektspezifischen Glossars unterstützt werden. Domänenspezifisch divergierende Verständnisse sollen verdeutlicht und somit die Grundlage für eine präzisere Kommunikation im Kontext interdisziplinärer Zusammenarbeit geschaffen werden.

Die Herstellung einer eindeutigen, konsistenten, präzisen, mehrsprachigen und domänenübergreifenden Terminologie ist eine anspruchsvolle geistige Tätigkeit auf dem höchsten Niveau menschlicher Informationsverarbeitung. Sie bedarf aus diesem Grund einer Werkzeugunterstützung. In dieser Arbeit soll daher das Realisierungskonzept eines Terminologiemanagementsystems als zentrales Wissensmodell entwickelt werden.

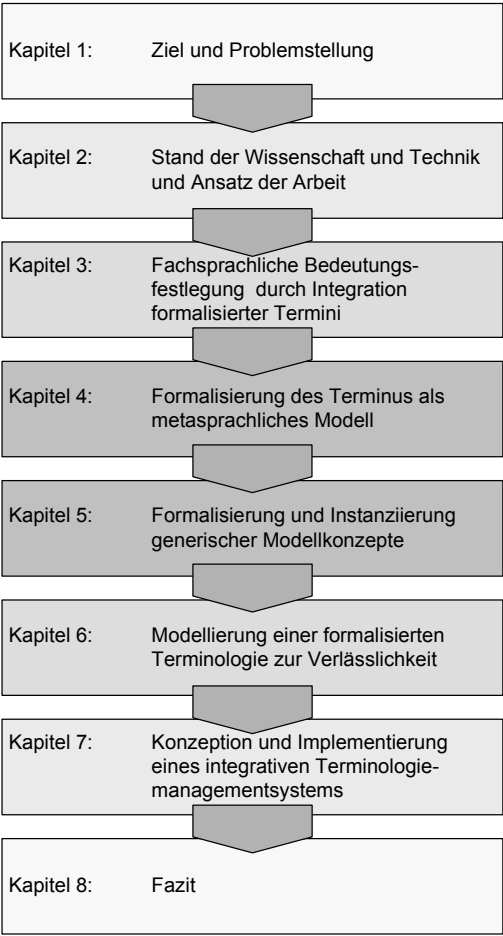
## 1.2 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in acht Kapitel gegliedert, die wie folgt aufeinander aufbauen:

- Kapitel 1 benennt das mit dieser Arbeit verfolgte Ziel der Schaffung einer eindeutigen, konsistenten, präzisen, mehrsprachigen und domänenübergreifenden Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme und gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit. Aus der Bedeutung der Kommunikation im Lebenslauf technischer Systeme heraus werden die aktuell existierenden Probleme erörtert und hieraus die Motivation für diese Arbeit ersichtlich.
- Kapitel 2 wird aufgezeigt, dass der Stand der Wissenschaft und Technik die bestehenden Probleme nicht zu lösen vermag. Es wird der dieser Arbeit zu Grunde gelegte methodische Ansatz vorgestellt.
- In Kapitel 3 werden zunächst Anforderungen an eine methodische Vorgehensweise zur

Entwicklung technischer Systeme diskutiert. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist eine fehlerfreie Kommunikation und somit eine terminologische Stringenz. Bewusste Modellbildung ist die zentrale Methode ingenieurwissenschaftlichen Handelns. Diese wird durch ein aufeinander abgestimmtes Zusammenwirken von Beschreibungsmitteln, Methoden und Werkzeugen unterstützt, was den Kern des entwickelten methodischen Ansatzes darstellt.

- In Kapitel 4 wird mit dem zuvor dargestellten methodischen Ansatz und dem zugehörigen Formalisierungskonzept das metasprachliche Modell des Terminus eingeführt und formalisiert. Es dient als Grundlage für die im weiteren Verlauf der Arbeit durchgeführten terminologischen Analysen.
- In Kapitel 5 erfolgt auf der Grundlage des metasprachlichen Modells des Terminus die Formalisierung der für die weitergehenden Untersuchungen zur Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme notwendigen Modellkonzepte. Die Modellkonzepte des Systems und der Funktions- und Ressourcenallokation werden entsprechend formalisiert.
- In Kapitel 6 wird zunächst die Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme mit Hilfe des in Kapitel 4 formalisierten Modellkonzepts des Terminus analysiert und formalisiert. Dies zeigt einen konkreten Handlungsbedarf für die Terminologiarbeit in diesem Anwendungsbereich auf. Durch die Verschränkung von Eigenschaften der Verlässlichkeit mit einer terminologischen Struktur des Modellkonzepts des Systems wird hierfür ein konsistentes Terminologiegebäude konzipiert.
- Basierend auf einer grundlegenden terminologischen Strukturierung und Formalisierung erfolgt im Kapitel 7 die konkrete Formalisierung und technologische Implementierung der Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme. Inhalt dieses Kapitels ist der Aufbau eines integrativen Terminologiemanagementsystems.
- In Kapitel 8 werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst, ihre wesentlichen Aspekte in ihrem Zusammenspiel diskutiert und ein Ausblick auf weitere Potenziale gegeben.



**Abbildung 1-1: Aufbau und Struktur der Arbeit**

## 1.3 Bedeutung und Probleme der Kommunikation

Die zunehmende Komplexität technischer Systeme führte in der Industrie zu einer fortschreitenden Spezialisierung: anfallende Probleme wurden auf differenzierte Rollen innerhalb der Organisation verteilt und von Spezialisten bearbeitet. Auf diese Weise entstanden arbeitsteilig geprägte und hochgradig vernetzte Organisationsstrukturen [Bud06]. Besonders deutlich wurde dies bei der Einführung der Mikrocomputer. Durch die Entkopplung der Hardwareentwicklung von der eigentlichen prozesstechnischen Problemlösung in der Software haben sich spezifische Problemfelder herausgebildet, die von verschiedenen Experten-gruppen bearbeitet werden. Den Vorteilen der Spezialisierung stehen hierbei die Nachteile immer komplexerer technischer und organisatorischer Schnittstellen gegenüber. Um auch bei zunehmender Arbeitsteilung eine qualitätsgerechte Leistung zu erbringen, ist eine detaillierte Abstimmung zwischen allen an diesem Prozess Beteiligten erforderlich. Auf der Grundlage von Kommunikation konstituieren sich die Industrieunternehmen als adaptive soziale Systeme [Mal06][Wil00][Luh08]. Abbildung 1-2 zeigt exemplarisch, dass entlang des Lebenslaufs einer technischen Einrichtung der Eisenbahnleit- und -sicherungs-technik Kommunikation zwischen verschiedenen Beteiligten erforderlich ist. Neben dieser nach außen gerichteten kommunikativen Vernetzung bedarf es ebenfalls entlang des unternehmensinternen Wertschöpfungsprozesses selbst einer kommunikativen Abstimmung.

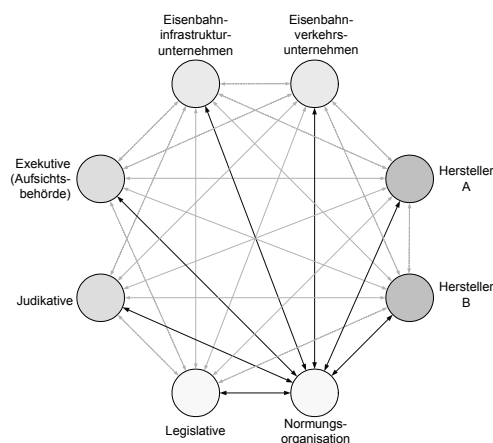
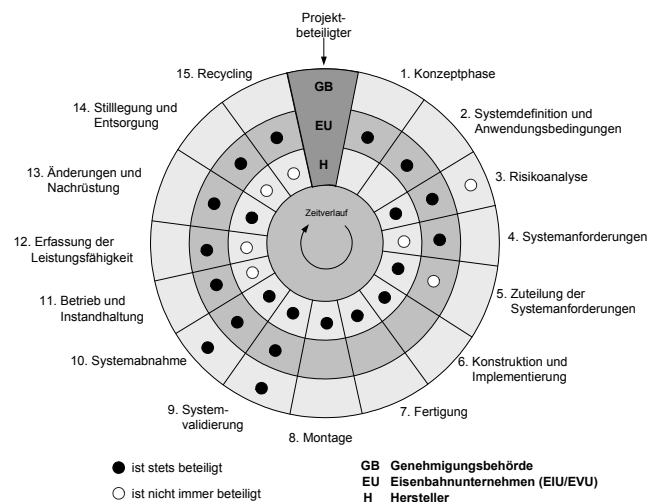


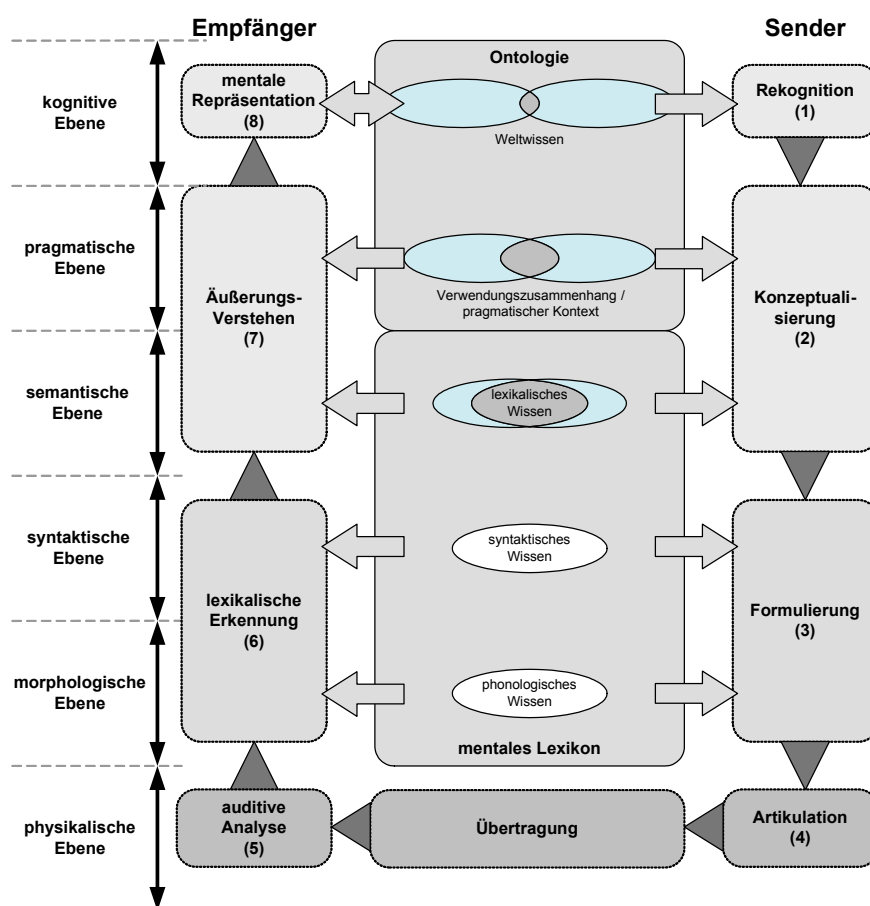
Abbildung 1-2: Kommunikation im Lebenslauf der Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik



### 1.3.1 Intra- und interpersonelles Kommunikationsmodell

Damit die im sprachlichen Diskurs entwickelte Systemlösung von allen Beteiligten in gleichem Sinne verstanden wird, bedarf es einer verbindlichen Festlegung einheitlicher Regeln (Formalisierung) für die Sprachproduktion und -rezeption, welche auf verschiedenen Ebenen der Sprache ansetzen. Kommunikation bezeichnet die Beziehung zwischen Sendern und Empfängern, die durch den Austausch von Nachrichten entsteht [VG01]. Das klassische Modell zur Veranschaulichung des Informationstransfers als Grundmuster zwischenmenschlicher Kommunikation ist das Sender-Empfänger-Modell [SW49]. Ausgehend von der Quelle, dem Sender, erfolgt die Übertragung einer Nachricht über einen Kanal an das Ziel, den Empfänger, der diese wahrnimmt und übersetzt. Diese nachrichtentechnische Sichtweise kann um die psychologische Dimension ergänzt werden und integriert neben interpretativen auch kontextbezogene Aspekte der Sprachproduktion und -rezeption. Das auf diese Weise erweiterte Modell der Informationsübertragung ist in Abbildung 1-3 dargestellt.

Das zentrale Element der Sprachproduktion und -rezeption ist dabei das mentale Lexikon. Dieses Lexikon ist eine Modellvorstellung der Psycholinguistik, welche das vorhandene Wissen in drei Bereiche einteilt: eine semantische, eine syntaktisch-morphologische sowie eine phonologische Ebene. Konnektionistischen Modellvorstellungen zu Folge ist es als neuronales Netz mit drei Lagen konzipiert. Hierin wird Information durch einen Aktivationsfluss von Knoten zu Knoten repräsentiert [Spi00].



**Abbildung 1-3: Hierarchische Strukturierung der Sprachproduktion und -rezeption**

Die Sprachproduktion und -rezeption vollzieht sich in den folgenden Schritten:

Die *Rekognition* (1) ist der Beginn der sprachlichen Äußerung, bei der zunächst Inhalte aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden [Sch06] (vgl. Abbildung 1-3 rechts oben).

Bei der *Konzeptualisierung* (2) findet die Erstellung einer kognitiven Repräsentation des intendierten Äußerungsinhalts statt. Hier werden die Informationen ausgewählt, die ein Sprecher einem Hörer mit einer bestimmten Absicht mitteilen will [Sch08a].

Die *Formulierung* (3) (Verbalisierung) schließt sich an [Die07]. Hierbei werden die lexikalischen Einheiten, welche die konzeptuellen Inhalte ausdrücken sollen, ausgewählt und aktiviert, eine syntaktische Struktur generiert und eine phonologische Repräsentation der lexikalischen Einheiten erzeugt.

Die *sprachliche Artikulation* (4), als motorisches Hervorbringen der sprachlichen Repräsentation, schließt den Prozess der Sprachproduktion ab [HF07]. Nach erfolgter Übertragung an den Sender beginnt der Prozess der Sprachrezeption.

Im Rahmen der *auditiven Analyse* (5) müssen einzelne Sprachlaute aus dem kontinuierlichen akustischen Signal extrahiert werden. Die Erkennung einzelner Silben und Worte stellt eine komplexe Verarbeitungsleistung des menschlichen Gehirns dar [HF07].

Die *lexikalische Erkennung* (6) ist ein Suchvorgang im mentalen Lexikon, dessen Ergebnis im Erfolgsfall die Aktivierung spezifischen lexikalischen Wissens im Gehirn des Empfängers aufgrund von Schalleindrücken ist.

Mit dem *Äußerungsverstehen* (7) knüpft ein analytischer Prozess der Bedeutungs-konstruktion an, dessen Ergebnis eine Sachverhaltsvorstellung beim Empfänger ist [HF07]. Diese erstreckt sich vom Erkennen der Wortbedeutungen und syntaktischen Strukturhinweisen bis zum Heranziehen außersprachlicher begleitender Wahr-nehmungen sowie des Kontext- und Weltwissens.

Die *mentale Repräsentation* (8) von Information (Enkodierung) setzt voraus, dass sich die Person dieser Information zuwendet, ihre Aufmerksamkeit und Wahrnehmung darauf ausrichtet und die zu behaltenden Eindrücke verarbeitet. Bei dieser Verarbeitung werden die wahrnehmungsgebundenen Eindrücke in eine andere Form übertragen. Sie sind jetzt neuronal im menschlichen Gehirn repräsentiert.

### 1.3.2 Kommunikationsprobleme

Zuvor ist deutlich geworden, dass die natürliche Sprache im Lebenslauf technischer Systeme das bevorzugte Medium der Kommunikation ist. Das in Abbildung 1-3 dargestellte Modell der inter- und intrapersonellen Kommunikation verdeutlicht, dass jede Form der Kommunikation als Prozess der reziproken Bedeutungskonstruktion aufgefasst werden muss [WBJ69]. Dies hat zur Folge, dass in der Praxis oftmals Kommunikationsprobleme vorliegen, die unter anderem auf die folgenden Gründe zurückgeführt werden können:

- *Mehrdeutigkeit (Ambiguität)*: Oftmals beziehen sich in einer unternehmensspezifischen Terminologie oder der Normung Ausdrücke auf mehrere Lesarten (Homonymie, Polysemie) [Cus94][Tab01]. Dies steht im Widerspruch zu der geforderten *Eindeutigkeit* einer

fachsprachlichen Terminologie [Kor99].

- *Widersprüchlichkeit (Inkonsistenz)*: Es gibt Definitionen, die zuvor isoliert voneinander als gültig angesehen werden, jedoch zusammen unvereinbar sind. Es wird daher eine *Widerspruchsfreiheit* einer Fachterminologie gefordert.
- *Unschärfe (Vagheit)*: Es existieren Ausdrücke, die hinsichtlich bestimmter semantischer Merkmale unbestimmt sind. Neben dem Bedeutungskern, bei dem der Wortsinn klar ist, gibt es eine Bedeutungsperipherie, deren Wortsinn unklar ist (eine ausführliche Diskussion vager Termini erfolgt im Rahmen der juristischen Methodenlehre [Lar92][Sch05]). Dies kann zu Unschärfen in der fachsprachlichen Kommunikation führen, so dass eine Präzisierung terminologischer Festlegungen angestrebt wird.
- *Einsprachigkeit terminologischer Festlegungen*: Die Weiterentwicklung des Welthandels mit seiner immer weitergehenden Arbeitsteilung macht es nötig, bislang national normativ festgelegte Termini international zu vereinheitlichen [GK08]. Trotz internationaler Normungsaktivitäten werden viele Normen bislang zunächst einsprachig verfasst und hierauf aufbauend in verschiedene Zielsprachen übersetzt. Durch Unschärfen in der Übersetzung kommt es zu Mehrdeutigkeiten. Dies steht im Gegensatz zu der geforderten *Mehrsprachigkeit*, welche konsequent fremdsprachige Äquivalente der Benennungen aufzeigt.
- *Domänenspezifität terminologischer Festlegungen*: Immer stärker haben unterschiedlichste Fachgebiete miteinander zu tun. Häufig münden individualisierte Sichten in einer Divergenz von Terminologien, Modellkonzepten und Beschreibungsmitteln und führen zu einer menschlich und technisch kaum mehr zu beherrschenden Kommunikationskomplexität [Sch03]. Sprachbarrieren zwischen einzelnen Domänen stehen einer effizienten und reibungslosen interfachlichen Kommunikation entgegen [Sch02b][Glo97][Kal97]. Wörter, deren unterschiedliche Bedeutungen früher in getrennten Fachgebieten nicht auffielen, sind nun Anlass für folgenschwere Missverständnisse, weil die beiden Fachgebiete inzwischen wegen der technischen Entwicklung im Alltag eng zusammenarbeiten [GK08]. Gefordert ist hier eine *Interdisziplinarität* der terminologischen Basis, welche domänenspezifisch unterschiedliche Verständnisse abzubilden vermag.

### 1.3.3 Kommunikations- und Transaktionskosten

Im technisch-wirtschaftlichen Kontext verursachen Kommunikationsprobleme in Folge mangelhafter terminologischer Stringenz finanzielle Verluste. Diese *Transaktionskosten* entstehen beispielsweise, wenn zwischen den an einem Geschäftsvorgang beteiligten Personen erhöhter Kommunikationsbedarf, Verständigungsprobleme, Missverständnisse oder Konflikte auftreten [Man99]. Dies gilt in besonderem Maße für Prozesse mit einem hohen Dokumentationsaufwand wie zum Beispiel die Softwareentwicklung. Die wirtschaftliche Dimension wird anhand des folgenden Beispiels deutlich:

- *Terminologisch inkonsistente Dokumente* (beispielsweise Anforderungs-spezifikationen) entstehen, wenn ihre Erstellung auf mehrere Autoren verteilt wird. Da jeder Autor nur einen Teil des Gesamtdokuments bearbeitet, nimmt mit zunehmender Anzahl Beteiligter die Zahl der verwendeten Synonyme zu. Gleiches gilt für den der Dokumentenerstellung nachgelagerten Prozess der Übersetzung. An größeren Übersetzungsprojekten können

mehrere Übersetzer beteiligt sein. Ist die zu verwendende Terminologie nicht einheitlich und mehrsprachig definiert, führt dies zu ihrem unterschiedlichen Gebrauch [Woh08]. Dies kann im folgenden Entwicklungsprozess zu Missverständnissen und exponentiell zunehmenden Fehlleistungskosten führen.

- *Fehlleistungskosten potenzieren sich* mit der Anzahl der Aktivitäten, die seit dem Erstellen des Fehlers durchlaufen werden. Mit jedem Bearbeitungsschritt steigt der Kostenaufwand für die Fehlerbehebung an. Hat die Softwareentwicklung bereits einen bestimmten Punkt erreicht, sind in der Regel enorme Kosten aufzuwenden, um die Auswirkungen terminologischer Inkonsistenzen der Entwicklungsgrundlagen (Nutzer- oder Systemanforderungsspezifikation) rück-gängig zu machen oder zumindest zu begrenzen [Mue07].

## 1.4 Terminologienormung als Grundlage technischer Verständigung

Im Rahmen der Sachnormung nimmt das Deutsche Institut für Normung (DIN) eine Ordnungsfunktion für die Terminologie der Fachsprachen wahr [Spi94]. Die in den Normen verankerte Terminologie ist eine unverzichtbare Grundlage technischer Verständigung. In ihrem Normungspolitischen Konzept [Bun09] appelliert die Bundesregierung an die fachsprachliche Verantwortung der Normungs-organisationen und der an der Normung beteiligten Experten. Die Bundesregierung fordert ausdrücklich eine verstärkte inhaltliche und sprachliche Konsolidierung und Verbesserung des Normenwerks [Bun09]. Auch im jüngsten Geschäftsbericht des Deutschen Instituts für Normung wird auf die sprachliche Qualität der Ergebnisse der Normungsarbeit Bezug genommen. Obwohl die Normung eine immer komplexere Terminologie abbilden muss, gilt es "das Gleichgewicht zwischen Fachsprache, Allgemeingültigkeit und Eindeutigkeit einerseits und konkretem Praxisbezug, allgemeinverständlicher Formulierung und leichter Interpretierbarkeit andererseits zu finden" [Deu08].

Im Sinne der deutschen Normungsstrategie sind die Prozesse und Instrumente der Normungsorganisation fortlaufend an die veränderten Randbedingungen anzupassen und zu optimieren [Deu04]. Ein Zwischenbericht bewertet erste Ergebnisse der Umsetzung der Normungsstrategie. Hierbei wurde deutlich, dass zwar Schritte zur Prozessverbesserung im Sinne einer Beschleunigung der Abstimmungsprozesse eingeleitet wurden, jedoch keine der genannten Maßnahmen auf eine nachhaltige Verbesserung der Qualität der Ergebnisse der Terminologienormung zielte [Deu05].

### 1.4.1 Bedeutungszuwachs der Terminologienormung

Auf Grund der zentralen Rolle der Kommunikation und den aktuell bestehenden Problemen werden Terminologienormen im internationalen Warenverkehr zunehmend als wichtig erachtet. Die Triebfedern für diese zunehmende Relevanz werden nachfolgend dargestellt.

#### Globalisierung des Warenverkehrs

Der Warenhandel ist heute zunehmend europäisch und global ausgerichtet, so dass auch die genormte Terminologie international sein muss. Der Normung kommt hierbei eine wachsende

Bedeutung zu.

Auf *nationaler Ebene* sind konsensbasierte Normen ein wichtiges Instrument zur Entlastung und Beschleunigung der staatlichen Regelsetzung. Normen sollen die Durchsetzung von im besonderen öffentlichen Interesse liegenden Zielen unterstützen. In ihrem normungspolitischen Konzept strebt die Bundesregierung ausdrücklich die Prüfung und Abstimmung von Möglichkeiten einer Ausdehnung der "Neuen Konzeption" (Ansatz zur technischen Harmonisierung bestimmter Produktgruppen und dem Abbau von Handelshemmnissen innerhalb des Europäischen Binnenmarktes) sowie der stärkeren Nutzung von Normen in anderen geeigneten Rechtsgebieten an. Dies hat zum Ziel, die Normung stärker zur Entlastung der Gesetzgebung zu nutzen [Bun09]. Im Kontext ihrer Rolle in der staatlichen Regelsetzung und ihres Verständnisses wird Terminologienormung im binnenwirtschaftlichen Warenverkehr zunehmend wichtiger, da die gewünschte Rechtssicherheit nur auf der Grundlage einer unmissverständlichen Terminologie erreicht werden kann.

Auf *europäischer Ebene* ist seit Abschluss der Römischen Verträge im Jahre 1957 die Verwirklichung der Warenverkehrsfreiheit ein vorrangiges Ziel der Europäischen Gemeinschaft. Das wesentliche Ziel der zu diesem Zweck verfolgten "Neuen Konzeption" ist die Vermeidung technischer Handelshemmnisse unter Beachtung hinreichender Mindeststandards für den Verbraucher-, Umwelt- und Gesundheitsschutz. Erreicht werden soll dieses Ziel durch ein System aus *Richtlinien*, in denen sich der Gesetzgeber auf die grundlegenden Anforderungen an die Sicherheit von Produkten beschränkt, *Normen*, welche die Mindestanforderungen der Richtlinien ergänzen und konkretisieren sowie einheitliche *Grundsätze zur Konformitätsbewertung*. Auch hier ist die Bedeutung einer mehrsprachigen Terminologie von zentraler Bedeutung.

Auf *globaler Ebene* hat mit der Verringerung von Zollschränken im Welthandel die Bedeutung technischer Handelshemmnisse stetig zugenommen. Nationale aber auch regionale Normen, insbesondere Produktnormen, können zu technischen Handelshemmnissen werden, wenn sie von Rechtsetzung und Behörden verpflichtend, restriktiv oder gar protektionistisch angewandt werden. Aus diesem Grunde wurde im Rahmen der achten Welthandelsrunde das WTO/TBT-Abkommen zur Beseitigung von Handelshemmnissen auf dem globalen Markt unterzeichnet, um auch im Welthandel die Grundsätze von Transparenz und Diskriminierungsfreiheit zu etablieren. Dieses Abkommen fördert eine enge Verzahnung von internationalen Normen und technischen Vorschriften und lädt zur gegenseitigen Anerkennung und Harmonisierung ein. Dies führt dazu, dass der Trend zur internationalen Normung zunimmt. Dies umfasst natürlich auch die Festlegung der kommunikativen Grundlagen im Rahmen der Terminologie-normung.

### **Zunehmende Innovationsdynamik**

Die Aktualität normativer Festlegungen ist ein grundsätzliches Problem. Der Umfang des Regelungsbedarfs für technische und wissenschaftliche Sachverhalte ist zu groß und übersteigt das Aufnahmevermögen der Rechtsordnung bei weitem. Auch ist der Gesetz- und Verordnungsgeber fachlich und personell außerstande, für alle zu regelnden Fachgebiete die Detailbestimmungen zu treffen, die erforderlich sind, um das rechtlich Geforderte abschätzen zu können. Darüber hinaus können die Rechtsnormen durch teilweise langwierige

Gesetzgebungsverfahren nicht dem raschen Fortschritt von Wissenschaft und Technik folgen. Die Rechtsordnung läuft bereits nach kurzer Zeit der fortschreitenden technischen Entwicklung hinterher und behindert diese. Die Rechtsordnung erfüllt ihre Aufgabe lediglich mittelbar. Gesetze und Rechtsverordnungen geben abstrakte Schutzziele wie Schutz von Leben und Gesundheit vor und beziehen sich als Mittel zur Erreichung der normativen Schutzziele auf den Stand der Technik [MF87]. Der Stand der Technik konkretisiert die abstrakten Schutzziele und definiert das rechtlich maßgebliche Sicherheitsniveau durch konkrete Vorgaben [Bun09]. Die bloße Befolgung der anerkannten Regeln der Technik genügt genau dann nicht genügt, wenn die technische Entwicklung über die Norm hinausgegangen ist. Ein normatives Dokument zu einem technischen Gegenstand ist zwar zum Zeitpunkt seiner Annahme Ausdruck einer anerkannten Regel der Technik. Ab dem Zeitpunkt ihrer Veröffentlichungen driften jedoch die Normung und der Stand der Technik zwangsläufig (auch terminologisch) auseinander. Bei wachsender Innovations-dynamik und gleichbleibenden Erarbeitungszeiträumen nimmt diese terminologische Divergenz immer weiter zu.

### **Konvergenz der Technikdisziplinen**

Viele Technologien enthalten heute Komponenten unterschiedlicher Technik-bereiche (Biotechnologie, Mechatronik), was neue Herausforderungen und erweiterte Ansprüche an die Terminologienormung mit sich bringt [Deu04]. Im Rahmen der konvergierenden Technologien kann eine terminologische Divergenz gravierende Folgen haben. Es liegt in der Natur der Anwendung technischer Erkenntnisse, dass materiell, methodisch oder funktionell ständig Neuland betreten wird, für das noch keine "anerkannten Regeln" und somit noch kein Konsens über die zu verwendende Terminologie bestehen. Damit ist zu befürchten, dass für diese Bereiche keine kommunikative Basis gegeben ist, da sie nicht von den anerkannten Regeln der Technik abgedeckt sind. Es ist daher festzulegen, in welchen Bereichen die Konvergenz der Technik durch die Normung frühzeitig aufgegriffen wird, um hier ein entsprechendes terminologisches Inventar zu schaffen.

## **1.4.2 Herausforderungen der Terminologienormung**

Damit die Terminologienormung Kommunikationsbarrieren abbauen und den (inter-)nationalen Warenaustausch ermöglichen kann [BBE02], müssen Terminologienormen zum frühestmöglichen Zeitpunkt gesetzt werden [Bun09]. Aktuell sieht sich die Terminologienormung einer Reihe von Herausforderungen gegenüber, welche aus ihrer zuvor dargestellten Bedeutung resultieren.

### **Internationalisierung der Terminologienormung**

Die Globalisierung des Warenverkehrs erfordert eine Internationalisierung der Terminologienormung. Infolge wegfallender Handelshemmnisse im internationalen Warenverkehr verlagern sich die Schwerpunkte der Terminologienormung auf die internationale Ebene. Die Bedeutung einer klaren und widerspruchsfreien mehrsprachigen Terminologienormung nimmt zu und muss international geschehen [Deu09a]. Die zumeist englischsprachigen (internationalen) Referenznormen werden oftmals von Nicht-Muttersprachlern im Konsens erstellt, wodurch terminologische Unschärfen bereits bei der Erstellung der Referenznorm entstehen. In Diskussionen mit Normungsexperten wird hierbei mit einer gewissen Selbstironie eine „Dokumentationserstellung im Pidgin-Englisch“

konstatiert. Die zunächst fremdsprachig erstellten Normen werden ins Deutsche übersetzt. Nachteilig wirken sich hierbei zusätzlich die heterogenen Übersetzungsprozesse aus, welche entweder von einem Übersetzungsbüro, einem hauptamtlichen Mitarbeiter der Normungsorganisation oder einem Normungsexperten selbst durchgeführt werden [Wis01]. Durch die fälschliche Verwendung vermeintlich äquivalenter Termini entstehen bei der Übersetzung oftmals zusätzliche terminologische Unschärfen. Um diese Probleme zu lösen, ist eine intensive Abstimmung zwischen europäischer und internationaler Normung zu schaffen, um ein hohes Maß an einheitlichen Normen die Umsetzung des Abkommens zur Beseitigung technischer Handelshemmnisse auf dem globalen Markt (WTO-TBT) zu fördern. Die Wiener und die Dresdner Vereinbarungen haben bereits in Ansätzen zu einer solchen engen Verzahnung der europäischen und der internationalen Normungsarbeiten geführt.

### **Beschleunigung der Terminologienormung**

Die zunehmende Innovationsdynamik erzwingt eine Beschleunigung der Normung. Die fortschreitende Beschleunigung der Wirtschaftsprozesse und die kürzeren Innovationszyklen neuer Technologien erfordern es, trotz kürzer werdender Erarbeitungszeiträume gleichbleibend hochwertige Terminologienormen zu erstellen. Die Normungsarbeit kann mit der Dynamik der Technologie- und Terminologieentwicklung oftmals nicht mehr Schritt halten [FS04]. Die planmäßige Durchführung von Normungsvorhaben innerhalb festgelegter Fristen und mit begrenzten personellen Ressourcen erfordert in stärkerem Maße den Einsatz neuer Arbeitsmittel. Die Vermeidung von Doppelarbeit, von unnötigem Stillstand der Arbeiten und von Reibungsverlusten beim Finden des notwendigen Konsenses nimmt dabei eine wichtige Rolle ein [Wis01]. Darüber hinaus existiert zur Zeit kein bedienerfreundliches System, welches die Abstimmungsprozesse in einem Prozess der verteilten Erarbeitung einer Terminologie unterstützt [Gal07]. Eine Verkürzung der Erarbeitungszeiträume der Terminologienormung ist jedoch geboten, da nur so das zunehmende terminologische Auseinanderdriften des Standes von Wissenschaft und Technik und den allgemein anerkannten Regeln der Technik verhindert werden kann.

### **Fachübergreifende Terminologienormung**

Das Zusammenwachsen verschiedener Technologiebereiche erzwingt die Durchführung und Koordination fächerübergreifender Vorhaben der Terminologienormung. Die Konvergenz der Technologien macht eine Zusammenarbeit zwischen den Normungsgremien erforderlich, die traditionellerweise nur für einen der Bereiche Elektrotechnik, Telekommunikation und sonstige Technologien zuständig waren. Zur Bewältigung dieser Aufgaben fordert die Kommission der Europäischen Union gemeinsame Fachausschüsse für die Normungstätigkeit in jenen Bereichen, die technologisch konvergieren [Eur08]. Bei der aktuellen Diskussion um die Potenziale der Technologiekonvergenz [Bun09] wird vernachlässigt, dass die für den technologischen Fortschritt zu überwindenden Grenzen im Wesentlichen sprachlicher Art sind. Eine homogene Sprachgemeinschaft ist bei den sich stetig weiter ausdifferenzierenden Fachsprachen Fiktion [Kor99]. Vielmehr bestimmt Heterogenität den (fach-)sprachlichen Alltag. Vor dem Hintergrund der zunehmenden interdisziplinären Zusammenarbeit gewinnen mehrsprachige konsistente Terminologiebestände immer mehr an Bedeutung. Technologische Konvergenz setzt ein gegenseitiges sprachliches Verständnis zwingend voraus.

## 2 Stand der Wissenschaft und Technik und Ansatz der Arbeit

Im Rahmen der Entwicklung technischer Systeme entfällt ein großer Teil der Kosten auf die Ingenieurleistungen. Dies erfordert aus wirtschaftlichen Gründen eine systematische Auseinandersetzung mit ihrer methodischen Entwicklung im Allgemeinen und ihrer kommunikativen Grundlage im Besonderen. Die Bedeutung der Kommunikation für die Prozesse der Wertschöpfung und der Normungsarbeit mit den hierbei vorliegenden Problemen wurde bereits im Abschnitt 1.3 beschrieben.

Aus der Darstellung des Stands der Wissenschaft und Technik der Normungsarbeit und der Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme in Abschnitt 2.1 wird ersichtlich, dass bezüglich der zuvor genannten Ziele ein Bedarf besteht, der allerdings mit konventionellen Vorgehensweisen nicht befriedigt werden kann.

Daraus resultiert der Ansatz der Arbeit, der im Abschnitt 2.2 beschrieben wird. Ein neuartiges Informationsmodell ist hierbei das zentrale Artefakt, dessen Erstellung und Nutzung die bestimmenden Tätigkeiten des Informationsmanagements darstellt. Dessen methodischer Kern ist der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz der formalisierten Bedeutungsfestlegung.

### 2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Eine grundlegende Vorgehensweise (natur-)wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ist die Entwicklung konsistenter Terminologiegebäude [Fre77]. Diese verfügen über eine stringente Terminologie durch eindeutig festgelegte Termini und eine Taxonomie durch die Festlegung der zwischen ihnen bestehenden Relationen. In den jüngeren Ingenieurwissenschaften existieren solche systematischen Ansätze der Terminologiebildung bislang nicht. Trotz der Bedeutung der Verlässlichkeit technischer Systeme ist ihre Terminologie bislang nicht präzise und formal festgelegt. Sie liegt bislang lediglich in natürlicher Sprache vor, was oftmals zu Unverständnis und Missverständnissen führt.

#### 2.1.1 Stand der Terminologiegrundnormung

Als Grundlagenwerk der Terminologiewissenschaft gilt nach wie vor die Dissertation Eugen Wüsters aus dem Jahr 1931 [Wüs31]. Wüster arbeitete zwei zentrale Prinzipien heraus, die für die terminologische Grundlagenarbeit und die terminologische Grundnormung konstitutiv sind. *Termini* ergeben sich aus der Kombination der beiden Aspekte von *Begriff* (als kognitive Einheit) und *Benennung* (als materielle Repräsentation) [Spi94]. Ein wesentlicher Aspekt ist das Terminologiegebäude als Ordnungsprinzip des Fachwortschatzes. Der Terminus *Begriff* nimmt hierbei eine zentrale Rolle ein. Es ist entscheidend, den Begriff in Beziehung zu anderen Begriffen und in Abhängigkeit von benachbarten Begriffen zu sehen. Der zweite wesentliche Aspekt ist die systematische Bildung von Benennungen. Der begrifflichen Ordnung soll nach Möglichkeit eine ebensolche Ordnung auf der Benennungsseite entsprechen. Aus der Kombination dieser beiden Aspekte resultiert das Terminologiegebäude.



Im Jahre 1936 gründete die zehn Jahre zuvor ins Leben gerufene International Federation of Standardizing Associations (ISA) das Technische Komitee ISA/TC 37 Terminology, das die von Wüster fünf Jahre zuvor herausgearbeiteten Prinzipien der Terminologiarbeit in die internationale technische Normung einbringen sollte. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde von der Nachfolgeorganisation International Organisation for Standardization (ISO) bereits im Jahr 1952 das Technische Komitee ISO/TC 37 unter dem gleichen Namen gegründet [Gal09][Her09].

An die grundlegenden Gedanken Eugen Wüsters anknüpfend wurde im Jahr 1957 die Vornorm DIN 2330 mit Richtlinien für das Festlegen fachsprachlicher Bedeutungen und Bezeichnungen vorgelegt. Somit behandelte zum ersten Mal eine Norm grundlegende allgemeine Fragestellungen der Terminologiarbeit.

Um sowohl der terminologischen Einzelnormung als auch generell der Terminologiarbeit allgemeine und systematische Grundregeln zu geben, wurde innerhalb des Deutschen Instituts für Normung (DIN) im Jahre 1961 der Normenausschuss Terminologie (NAT) gegründet. Seine Aktivitäten richten sich seither auf die grundlegende Bedeutung der Fachsprachen für die gesamte Normung, die Werkzeuge für eine sachgerechte Terminologiarbeit, die Übersetzungspraxis und die Lexikographie [Spi94][Pöh06].

Die Terminologiestelle DIN-TERMKONZEPT wurde im Jahr 1995 gegründet und unterstützt seitdem die Normungsarbeit der einzelnen Normenausschüsse durch terminologische Beratung, Recherchen und andere Auskünfte über genormte Terminologie. Mit der Gründung der Terminologiestelle beginnt auch die systematische Erfassung der im Deutschen Normenwerk enthaltenen terminologischen Festlegungen in der Datenbank DIN-TERM [Wei01]. Seit dem Frühjahr 1998 wird alle ein bis zwei Jahre der jeweils aktuelle Terminologiebestand auf einer CD-ROM veröffentlicht und Interessierten außerhalb des DIN eine Recherche im Gesamtbestand der DIN-TERM-Daten ermöglicht [Pre06]. Seit dem Jahr 2002 enthält die Datenbank alle terminologischen Festlegungen (etwa 250.000 Einträge) aus Normen und Normenentwürfen [Wis01].

Aktuelle Bestrebungen in der Terminologiarbeit gehen in Richtung einer webbasierten Bereitstellung und Pflege von Terminologien. Seitens der Terminologiestelle DIN-TERMKONZEPT wird hierbei festgestellt, dass das derzeitige technische Konzept der Terminologiedatenbank DIN-TERM für diesen Zweck unzureichend ist [Pre06]. Auf internationaler Ebene beabsichtigt die ISO (International Organisation for Standardization) analog zur Datenbank DIN-TERM eine Bereitstellung der „ISO Concept Database“, die das Sammeln, Speichern und Abrufen terminologischer Einträge aus Normen erleichtern soll. Die Hauptfunktion der Terminologiedatenbank besteht darin, Zugang zu Einträgen zu ermöglichen, die genormt wurden, sowie eine Arbeitsumgebung für ISO-Komitees zu schaffen, in der diese die Einträge, für die sie verantwortlich sind, erstellen und pflegen können [Wei08b].

Die Terminologiekonzeptanalyse ist eine grundlegende Aufgabe der Terminologiarbeit, die auf eine umfassende Beschreibung und Darstellung des Fachwortschatzes in einem Fachgebiet zielt. Für diese Aufgabe werden formale Notationen empfohlen [ISO08a]. Trotz dieser Empfehlung verbleibt die Terminologienormung bislang auf der natürlichsprachlichen Ebene.

Möglichkeiten, über die in [ISO08a] vorge-schlagene Nutzung semi-formaler Klassendiagramme der Unified Modelling Language (UML) hinaus durch die Nutzung weiterer rein formaler Methoden eine weitergehende terminologische Klärung zu erreichen, werden bislang nicht genutzt. Ansätze sind erst in [Hän08] ausgearbeitet worden. In [Sch08b][SS08b] wird aufgezeigt, wie die Beschreibungsmittel der UML-Klassendiagramme und Petrinetze sich gegenseitig ergänzen und für eine semantisch mächtige Terminologieanalyse eingesetzt werden können. Im Beitrag [SS09a] wurde ein Ansatz eines Terminologiegebäudes für die als Eigenschaften der Verlässlichkeit identifizierten Termini Verfügbarkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit vorgestellt. Dieses wird anhand des Beispiels der Zuverlässigkeit in seinem Aufbau der Binnenstrukturen differenziert und durch geeignete Beziehungen verknüpft.

### 2.1.2 Stand der Terminologie technischer Systeme

Der Gegenstandsbereich der Terminologie technischer Systeme wird bislang in der wissenschaftlichen Literatur zumeist unter linguistischen Fragestellungen [Lit80] oder der Fachübersetzung [Flu96][Roe99] untersucht. Inhaltliche Aspekte sind eher systemtheoretischer Natur [Rop99].

Seit ihrer Gründung im Jahre 1906 sieht die International Electrotechnical Commission (IEC) die Schaffung einer einheitlichen Terminologie der Elektrotechnik als eine ihrer Hauptaufgaben an. Die Ergebnisse der Terminologiarbeit werden im Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (International Electrotechnical Vocabulary, IEV) veröffentlicht. Die erste Ausgabe des IEV wurde 1938 veröffentlicht. Bis heute wird die Terminologie der Elektrotechnik in der Norm IEC 60050 in 77 Teilen parallel zum Stand der Technik weiterentwickelt (Kapitel 351 enthält die Terminologie der Leittechnik). Die IEV Online-Datenbank Electropedia ist im Internet frei zugänglich und enthält 20.000 mehrsprachige terminologische Einträge, die nach Fachgebieten gegliedert sind [Gal09][Her09]. Trotz des Verdienstes einer internationalen Terminologienormung auf diesem Gebiet ist fest-zustellen, dass die Bemühungen an dieser Stelle nicht über ein Glossar hinaus-gehen. Die Bedeutung der genannten Termini wird nicht durch semantische Relationen verdeutlicht und die Fachsprache nicht in ihrer Systemhaftigkeit aufgezeigt.

Moderene Sensoren und Sensorsysteme besitzen eine Vielzahl verschiedener Eigenschaften und lassen sich demzufolge auch nach unterschiedlichen Gesichtspunkten gliedern. Um die Möglichkeit einer leichteren Auswahl nach spezifischen Anforderungen zu schaffen, ist es erforderlich, eine Systematik zu entwickeln, die es ermöglicht, Sensoren unter verschiedensten Gesichtspunkten allgemeingültig in einer Form zu beschreiben, die in ihrer Struktur unabhängig von spezifischen Sensoren ist. Dieser in der Arbeit von [Pet94] skizzierte Ansatz hat mit [DIN99a] Eingang in die (Vor-)Normung gefunden.

Der zunehmende EDV-gestützte und automatisierte Austausch, Vergleich und Abgleich von Informationen zwischen verschiedenen Bereichen innerhalb eines Unternehmens und zwischen Unternehmen hat eine Reihe von Klassifikations-systemen hervorgebracht, die eine strukturierte Beschreibung von Produkten, Gütern und Dienstleistungen erlauben. In [HE03] werden aus einer Gegenüberstellung verschiedener Klassifikationssysteme bestehende Defizite aufgezeigt und erste Überlegungen und Lösungsansätze zur Entwicklung allgemeiner

Modelle für Klassifikationssysteme und Merkmale vorgestellt. Nach [HE03] sollten erweiterte Klassifikations- und Merkmalsmodelle mehrere Klassifikationslinien und eine beliebige Hierarchietiefe unterstützen. Darüber hinaus wird die Möglichkeit der Abbildung semantischer, relationaler und pragmatischer Aspekte bei der Merkmalsmodellierung gefordert, um der aktuell eingeschränkten semantischen Mächtigkeit der Klassifikationssysteme zu begegnen. Nach [HE03] sollten sich weitergehende Untersuchungen mit dem Aufbau eines Merkmalsmodells im Sinne eines semantischen Netzwerks beschäftigen.

Bewusste oder intuitive Modellbildung ist die zentrale ingenieurwissenschaftliche Methode in der Entwicklung automatisierungstechnischer Systeme. Der Beitrag von [Epp08] betont die Bedeutung einer einheitlichen Verwendung von Termini im Rahmen der häufig fachgebietsübergreifend erfolgenden Systemmodellierung. Der Beitrag erläutert ausgewählte grundlegende Termini der leittechnischen Modellwelt, welche als Grundlage einer weitergehenden Modellbildung aufgefasst werden können. Eine Nutzung formaler Beschreibungsmittel zu einer weitreichenden terminologischen Klärung ist in diesem Beitrag nicht vorgesehen.

In [DMS09] wird jüngst festgestellt, dass die Erarbeitung eines automatisierungs-technischen Glossars zu einer aktuellen Aufgabe geworden ist, da ohne ein gemeinsames Terminologiegebäude Aufgaben nicht kooperativ gelöst werden können. Nur ein gleiches Verständnis fördert koordiniertes und zueinander passendes Handeln. Bestehende Terminologien in diesem Bereich sind oftmals lediglich implizit vorhanden und, sofern überhaupt explizit, dann häufig lediglich in Tabellen angelegt, in denen die Benennungen, die zugehörigen Definitionen und eventuell noch ihr Ursprung hinterlegt wird. Für diese Glossare werden ein unspezifischer Fokus, vorhandene Unschärfen, ein lückenhafter Umfang, eine fehlende Modellgrundlage oder eine fehlende Rezipientenorientierung beklagt. Sie können somit oftmals nicht als Referenz in Projekten oder für den (inter-) fachlichen Diskurs verwendet werden.

Wie viele andere Gebiete besitzt auch die Eisenbahnleit- und -sicherungstechnik eine Vielzahl unterschiedlicher Fachtermini. Grundlegende Anforderungen wie Homonym- und Synonymfreiheit des terminologischen Bestands sind auch hier häufig nicht erfüllt. Die fehlende Eindeutigkeit und Redundanzfreiheit der Benennungen erschwert die Kommunikation mit Beteiligten anderer Fachdisziplinen. Fachterminologische Probleme im Eisenbahnwesen werden unter anderem aus der Perspektive einer technikgeschichtlichen Aufarbeitung der Fachsprache [GHS06], im Sinne eines Fachlexikons [PN02] oder als mehrsprachiges Wörterbuch [UIC01] betrachtet. Diese Ansätze genügen jedoch nicht dem Anspruch einer konsistenten und widerspruchsfreien Darstellung dieser Fachsprache.

### **2.1.3 Stand der Terminologie der Verlässlichkeit**

Die Arbeit von [Lap92] stellte einen ersten Ansatz dar, eine terminologische Klärung der diffusen Terminologie der Verlässlichkeit herbeizuführen. Ziel dieser Arbeit war es, ein präzises Terminologiegerüst für die Verlässlichkeit von Rechensystemen zu erreichen, welches in mehrere Sprachen übersetzt wurde. In den Vorbemerkungen zur deutschen Ausgabe des Buchs werden Schwierigkeiten bei der Übersetzung der zentralen Termini eingeräumt.

Darüber hinaus bleibt dieses Terminologie-gebäude informal. Die bestehenden semantischen Relationen werden nicht verdeutlicht und die Sprache nicht in ihrer Systemhaftigkeit offenbar.

Als wesentlicher Beitrag zur Verdeutlichung und Verringerung von Verständnis-problemen wurde in der Arbeit [Sch02a] auf der Grundlage für das Themenfeld relevanter Normen und Richtlinien ein Terminologiegebäude für das konzipierte Management nicht erwünschter technischer Phänomene entwickelt. Dieses zielt auf die umfassende Handhabung von Fehlern, Ausfällen, Störungen oder Versagen, verbleibt aber lediglich informell und kann daher ebenfalls keine weitreichendere terminologische Klärung erreichen.

Aufbauend auf dem Werk von [Lap92] wurde eine Formalisierung der terminologischen Relationen der Verlässlichkeit technischer Systeme durch die Nutzung von Ontologiesprachen unternommen. Der jüngste unternommene Versuch [Uni09] ist jedoch als unzureichend zu bewerten, da dieser lediglich einsprachig das bereits in [Lap92] identifizierte Terminologiegebäude reproduziert. Eine darüber hinausgehende Präzisierung und Quantifizierung abstrakter Termini, wie von [Rak02] intendiert, erfolgt nicht. Darüber hinaus wird die semantische Mächtigkeit der Ontologiesprachen durch eine bloße Fokussierung auf Abstraktionsrelationen nicht genutzt. Der bloße Wechsel der Repräsentationsform an sich stellt noch keinen wissenschaftlichen Fortschritt dar.

Auch in [Rak02] wird konstatiert, dass die Terminologie in der Literatur zur technischen Zuverlässigkeit weitgehend inkonsistent ist und die Definitionen verwandter Termini, insbesondere der Sicherheit und des Risikos vielfältig und unscharf sind. Basierend auf dieser Feststellung wird das Ziel einer einheitlichen Darstellung einer Terminologie mit darauf basierenden Kenngrößen entwickelt. Die Linearität der textuellen Repräsentationsform vermag die vernetzte Struktur einer komplexen Terminologie jedoch nur unzureichend wiederzugeben. Darüber hinaus verbleibt auch dieses Terminologiegebäude informell durch seine bloße natürlichsprachliche Repräsentation.

Im normativen Kontext sind bei vielen Termini Defizite in ihrem Verständnis und bei ihrer Kommunikation zu verzeichnen. Die Grundnorm IEC 61508 thematisiert die funktionale Sicherheit technischer Einrichtungen. Sektorspezifische Ausprägungen dieser Grundnorm beschreiben die Realisierung sicherheitsrelevanter elektrischer und elektronischer Steuerungssysteme über den gesamten Lebenslauf von der Konzeptphase bis zur Außerbetriebnahme. Die Basis hierfür bilden quantitative und qualitative Betrachtungen sicherheitsbezogener Steuerungsfunktionen.

- Für den Bereich der *Maschinensicherheit* wird festgestellt, dass viele Resultate der Bemühungen, eine terminologische Konvergenz zu erreichen, ins Gegenteil führen. Statt eines erhofften interdisziplinären Konsenses erschweren Interpretationen und Leitfäden das Verständnis, so dass sprichwörtlich ein Verlaufen im Dschungel der Normen befürchtet wird [Lér08].
- Für den Bereich *sicherheitsrelevanter Systeme für die Bahnautomatisierung* zeigt die Erfahrung, dass Termini innerhalb eines Normenwerks (DIN EN 50126 ff.) widersprüchlich oder falsch definiert sind oder aber von den Anwendern unterschiedlich interpretiert werden. Ein resultierendes Ziel der derzeit laufenden Überarbeitung dieser Normenreihe ist

es daher, einen konsistenten Satz an Benennungen und Definitionen zu schaffen, der zukünftig dieser Normenreihe zu Grunde liegen soll [CEN07b].

Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften hat sich im Themennetzwerk Sicherheit zum Ziel gesetzt, die Brücke zwischen den Termini *Safety* (Schutz der Umwelt vor Systemauswirkungen) und *Security* (Schutz des Systems vor Fremdeinwirkungen) zu schlagen. Auf der Grundlage einer systematischen Bündelung unterschiedlicher wissenschaftlicher Auffassungen und vielfältiger Forschungsaktivitäten wird als zentrale Handlungsempfehlung des Themen-netzwerks, die Harmonisierung bislang heterogener Verständnisse auf der Grundlage eines stringenten methodischen Ansatzes gefordert [Deu09b].

## 2.2 Ansatz der Arbeit

Der Ansatz dieser Arbeit beruht auf einem modellbasierten Konzept des Informationsmanagements. Dieses erzeugt das zentrale Modell terminologischer Informationen, dessen methodische Grundlage mit dem Ansatz der formalisierten Bedeutungsfestlegung in diesem Abschnitt skizziert wird.

### 2.2.1 Modellbasiertes Informationsmanagement

Informationsmanagement ist die Aufgabe, den für das Unternehmen neben den klassischen Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Boden vierten Faktor Information zu beschaffen, zu kommunizieren und zu bewahren. Dafür ist eine geeignete Informations(infra-)struktur bereitzustellen und davon ausgehend, die dafür erforderlichen informationstechnischen und personellen Ressourcen für die Informationsbereitstellung zu planen, zu beschaffen und einzusetzen [SH05]. Daten, Informationen und Wissen durchleben einen Zyklus in dem sie erzeugt, gespeichert, auf unterschiedliche Arten genutzt und gelöscht werden [Bod06]. Dieser Zyklus mit seinen verschiedenen Bausteinen ist in Bezug auf die zentrale modellbasierte Informationsrepräsentation in Abbildung 2-1 dargestellt. Seine Bausteine werden nachfolgend beschrieben.

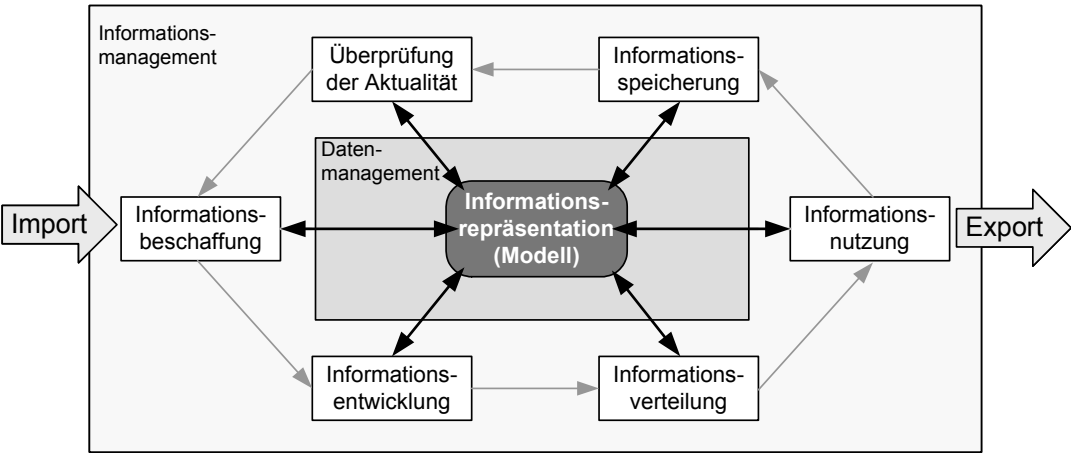


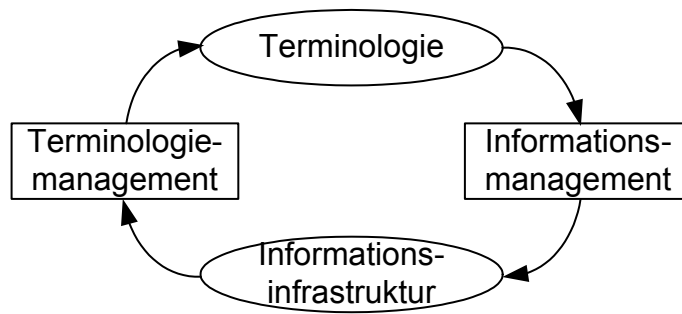
Abbildung 2-1: Modellbildung als Kern des Informationsmanagements

- *Informationsbeschaffung*: Hierunter fällt zum einen Informationserstellung als Erzeugung neuer Informationen innerhalb der Organisation oder die Akquisition von Information außerhalb. Zum anderen umfasst dies das als *Information Retrieval* bezeichnete Auffinden vorhandener Informationen.
- *Informationsentwicklung*: In der betrieblichen Informationsverarbeitung müssen Prozesse und Rollen definiert sein, welche die Qualität der verwalteten Informationen sicherstellen und so verhindern, dass Informationen in der großen Menge unwichtiger oder falscher Informationen untergehen.
- *Informationsverteilung*: Die Information wird entweder proaktiv vom Urheber an den Empfänger verteilt (Push-Prinzip) oder der Informationsnachfrager holt die gewünschten Informationen ab (Pull-Prinzip).
- *Informationsnutzung*: Ergebnisse eines Projekts sind aufbereitet und liegen auf einem höheren Abstraktionsniveau vor. Sie können in anderen Projekten wiederverwendet werden.
- *Informationsspeicherung*: Die Informationen sind gemäß eines Klassifizierungs-schemas zu speichern, welches den gezielten Zugriff ermöglicht. Die Informationen sollten in einem standardisierten Format vorliegen, um von spezifischen Anwendungsprogrammen unabhängig zu sein.
- *Überprüfung der Aktualität*: Um die Qualität von Informationsbeständen auf einem hohen Niveau zu halten, ist es erforderlich, die Aktualität und den Nutzwert der erhaltenen Informationen zu prüfen. Informationen werden aktualisiert oder, falls nicht aufbewahrungswürdig, gelöscht.

Der dieser Arbeit zu Grunde liegende Ansatz ergänzt den klassischen Zyklus um eine modellbasierte Informationsrepräsentation. Das Modell wird zum zentralen Artefakt und die Erstellung und Nutzung von Modellen zu einer zentralen Tätigkeit im Informationsmanagement. Ein formal spezifiziertes Modell kann einen Beitrag zu einer semantisch eindeutigen, präzisen und widerspruchsfreien Repräsentation der Informationsbasis darstellen (vgl. Abschnitt 3.2).

### 2.2.2 Terminologiemanagement

Informationsmanagement kann nur dann effektiv funktionieren, wenn ihm eine konsequent eingehaltene Terminologie zu Grunde liegt. Im Umkehrschluss bedarf ein wirksames Terminologiemanagement einer geeigneten Informations-infrastruktur. Ein funktionierendes Terminologiemanagement als zielgerichteter Umgang mit terminologischen Informationen [Bud06] und das Informationsmanagement bedingen sich folglich gegenseitig [Stu07], was in Abbildung 2-2 dargestellt ist.



**Abbildung 2-2: Terminologie- und Informationsmanagement[DIN03b]**

- *Terminologiemangement ist Voraussetzung* für ein Informationsmanagement, da Sprache die Grundlage von Kommunikation und Handeln ist. Informationsmanagement-Systeme können nur dann funktionieren, wenn eine einheitliche Terminologie verwendet wird, die unnötige Synonyme vermeidet. Nur so kann das Informationsmanagement seine Aufgabe erfüllen, Informationen zu beschaffen und in einer geeigneten Informationsstruktur bereitzustellen [SH05]. Eine wesentliche Rolle spielen dabei durch das Terminologiemangement strukturierte Metainformationen, die Informationen über die Informationen darstellen [Bod06].
- *Informationsmanagement ist Voraussetzung* für ein Terminologiemangement, da eine Terminologie nur dann effektiv verwendet wird, wenn sie Teil des Wissens eines Unternehmens ist und die Mitarbeiter richtig mit ihr umgehen können. In diesem Sinne bringt das Terminologiemangement Ordnung in das Gemenge unscharf gegeneinander abgegrenzter Termini. Das Informationsmanagement sorgt dann dafür, dass alle Betroffenen von der richtigen Terminologie wissen und diese anwenden.

Terminologiemangement ist ein Mittel zur Prozessoptimierung mit dem Ziel der Produktivitätserhöhung. Das Terminologiemangement eröffnet die folgenden wirtschaftlichen Potenziale:

- *Präventive Qualitätssicherung:* Eine frühzeitige verbindliche Festlegung von Termini in der Spezifikationsphase stellt einen einheitlichen Sprachgebrauch in den folgenden Wertschöpfungsstufen sicher [Mue07]. Der exponentiellen Zunahme der Fehlerkosten wird durch diese frühzeitige Maßnahme begegnet.
- *Abbau von Sprachbarrieren:* Eine systematische und mehrsprachige Firmenterminologie ermöglicht die effiziente und reibungslose Fachkommunikation aller Unternehmensbereiche, so dass Sprachbarrieren zwischen einzelnen Abteilungen überwunden werden. Autoren, Entwickler, Validierer und Gutachter assoziieren mit einer Benennung die gleichen Sachverhalte. Missverständnisse bei Angeboten, Verträgen und Leistungsbeschreibungen werden vermieden [Deu09a], da mittels eindeutig festgelegter Termini klare Absprachen im Geschäftsverkehr getroffen werden können.
- *Verbesserte Qualität der Dokumentation:* Terminologiemangement erhöht die Qualität, Eindeutigkeit und Verständlichkeit der technischen Dokumentation (Entwicklungsdokumentation, Bedien- und Instandhaltungshandbücher). Dies reduziert

Haftungsfälle wegen fehlerhafter Produktinformation [Kil07]. Bereits in der Phase der Dokumentationserstellung kann durch den Einsatz von Prüfwerkzeugen die terminologische Konsistenz gewährleistet werden. Die Einhaltung einheitlicher Stilregeln verbessert den Lesefluss und den Informationstransfer und führt in der Normungsarbeit zu einer höheren Qualität der normativen Dokumente [DH08].

- *Reduzierter Aufwand im Dokumentenlebenslauf:* Eine geprüfte und freigegebene Terminologie verkürzt den Arbeitsaufwand für die Dokumentationserstellung, die Reviews und die Fachübersetzung.
- *Verbesserung der Produkteigenschaften:* Vollständige, verständliche und sinnvolle Fehlermeldungen können für den Bediener hilfreich sein. Stress, Hilflosigkeit und Zeitverlust des Bedieners in Folge mangelhafter Diagnose-meldungen werden somit vermieden [Ola07]. Dies verbessert direkt die Instandhaltbarkeit eines Produkts.

### 2.2.3 Ansatz der formalisierten Bedeutungsfestlegung

Die Überwindung der sprachlichen Beliebigkeit und Flexibilität erfordert eine grundlegend neue Vorgehensweise, da die bisherigen Ansätze die Problematik nicht auflösen konnten, wie in Abschnitt 2.1 gezeigt wurde. Der grundlegende wissenschaftliche Ansatz dieser Arbeit besteht in einer Analyse des Terminus als solchem, seiner Formulierung sowie einer nachfolgenden Formalisierung und Quantifizierung mit Beschreibungsmitteln und Werkzeugen der Informatik. Auf dieser formalen Basis wird die Integration und Verifikation von Termini und Terminologiegebäuden ermöglicht.

- Die Termini *Ding*, *Geschehnis*, *Attribut* und *Relation* mit ihrer sprachlichen Differenzierung durch eine normierte Wortstruktur liegen als Analyseschema der Untersuchung des terminologischen Bestands in den technischen Normen zu Grunde. Auf dieser Basis offenbaren sich die derzeit existierenden teilweise eklatanten Widersprüche und Mehrdeutigkeiten.
- Die normierte Wortstruktur schafft darüber hinaus im Sinne einer Synthese die Voraussetzung, Termini zu strukturieren und später im Sinne einer Nomenklatur eindeutige, widerspruchsfreie (und sinnvolle) Benennungen zuzuordnen.
- Die auf diese Weise konsistent natürlichsprachlich beschriebenen Modellkonzepte können mit ihren terminologischen Relationen unter Nutzung mehr oder weniger formaler Beschreibungsmittel wie UML-Klassendiagrammen und Petrinetzen formalisiert werden. Auf diese Weise offenbart sich die Relationsstruktur des den Modellkonzepten zu Grunde liegenden Terminologiegebäudes.
- Zur Präzisierung der Termini, insbesondere der Verlässlichkeit einschließlich der Sicherheit, ist deren Verschränkung mit einem (seinerseits wiederum formalisierten) Terminologiegebäude des Systems als solchem (als Abstraktion einer Bezugseinheit) zweckmäßig. Die Abbildung der beiden Modellkonzepte aufeinander wird möglich, da sie zum einen auf dem Modellkonzept des Terminus als solchem, zum anderen aber auch den gleichen mehr oder weniger formalen Beschreibungsmittel basieren („konzeptioneller Isomorphismus“).
- Die Formalisierung terminologischer Zusammenhänge ermöglicht somit, neben der



Integration heterogener Modellkonzepte [Sch03], ihre Prüfung im Sinne einer Verifikation und Validierung des Terminologiegebäudes. Hierbei kann unterstützend auf moderne Methoden der Informatik zurückgegriffen werden.

#### **2.2.4 Kommunikationseffizienz durch Werkzeugunterstützung**

Die Komplexität des Produktionsfaktors Wissen erfordert eine Werkzeugunterstützung zu seiner effizienten Entwicklung. Eine gemeinsame Datenbank erlaubt es, Wissen an verschiedenen Stellen im Unternehmen zu sammeln, verwalten, pflegen, standardisieren und unternehmensweit bereitzustellen. Durch die systematische Verwaltung freigegebener Termini wird die Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche im Unternehmen gefördert. Dies bietet den Vorteil einer sofortigen Verfügbarkeit, da verschiedene zuständige Personen die Terminologie direkt eingeben und bearbeiten können, so dass diese anschließend umgehend für alle Beteiligten verfügbar ist. Darüber hinaus erlaubt diese Plattform das verteilte und kollaborative Arbeiten, da Mitglieder eines Teams an verschiedenen Standorten an der Erstellung einer Online-Terminologie mitwirken können.

### **3 Fachsprachliche Bedeutungsfestlegung durch Integration formalisierter Termini**

In diesem Kapitel wird der zentrale methodische Ansatz dieser Arbeit entwickelt. Er ist die Grundlage für die im weiteren Verlauf vorgenommene modellbasierte Disambiguierung und Formalisierung der Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme. Dieses Kapitel gliedert sich in drei Abschnitte, die nachfolgend in ihrem Zusammenhang dargestellt werden.

In Abschnitt 3.1 werden die sich aus den Aufgaben im Lebenslauf technischer Systeme ergebenden Anforderungen an einen methodischen Ansatz erörtert. Modelle werden als Basis für Erkenntnisgewinnung, Kenntnisspeicherung und Kenntnisvermittlung verwendet. Diese Anforderungen sind der grundsätzliche Ausgangspunkt für die in diesem Kapitel ausgearbeitete strukturierte Vorgehensweise. Vor dem Hintergrund der Kommunikation Beteiligter verschiedener Disziplinen und den daraus erwachsenden Abstimmungsproblemen und Fehlleistungskosten wird die Forderung nach einer Integration der verschiedenen (domänenspezifischen) Sichten erhoben (vgl. Abschnitt 3.1.1). In den Ingenieurwissenschaften dienen Modelle als (unter anderem kommunikative) Grundlage des Entwicklungsprozesses, was in Abschnitt 3.1.2 mit der modellbasierten Entwicklung beschrieben wird. „Richtige“ Modelle der Automatisierungstechnik können aber nur auf der Grundlage einer eindeutigen und standardisierten Terminologie entwickelt werden. Daher wird ein einheitliches Verständnis und die semantische Eindeutigkeit der Termini einer Fachsprache im Abschnitt 3.1.3 als Forderung nach terminologischer Stringenz erörtert.

In Abschnitt 3.2 werden als Grundlage aller weiteren Betrachtungen methodologische Aspekte der ingenieurwissenschaftlichen Arbeitsweise behandelt. Diese zeigt sich als ein aufeinander abgestimmtes Zusammenwirken der drei Entwicklungsmittel Beschreibungsmittel, Methode und Werkzeug. Dieses wissenschaftliche Vorgehen ist die Basis für die anschließende Herleitung und Diskussion des methodischen Ansatzes (vgl. Abschnitt 3.3). Diese Herangehensweise besteht in der Formulierung und Formalisierung des Terminus als metasprachliches Muster zur Strukturierung abstrakter semantischer Zusammenhänge. Die damit formalisierten abstrakten Terminologiegebäude können instanziiert und auf konkrete Objekte angewendet werden. Der strukturelle Isomorphismus zwischen den Modellen erlaubt die Integration heterogener Modellwelten. Darüber hinaus werden Konzepte zur Formalisierung, Verifikation und Integration von Modellkonzepten vorgeschlagen.

Mit der Formalisierung dynamischer Bedeutungsbeziehungen durch Petrinetze erfährt die im technischen Bericht des ISO Technical Committee 37 (Terminology and other language and content resources) vorgeschlagene Nutzung der UML-Klassendiagramme [ISO08a] eine wesentliche Erweiterung. Das aus [ISO08a] resultierende Problem der eingeschränkten semantischen Mächtigkeit einer terminologischen Analyse wird hierdurch gelöst.

### 3.1 Anforderungen an einen methodischen Ansatz

Der Lebenslauf eines technischen Systems ist geprägt durch das Zusammenwirken Beteiligter verschiedener Disziplinen. Eine methodische Vorgehensweise soll die Umsetzung von Anforderungen verschiedener interessierter Parteien unterstützen.

#### 3.1.1 Phasenübergreifende Integration der Sichten

Im Lebenslauf eines technischen Systems erfahren gleichwertige und unabhängige Entwurfsmerkmale in den einzelnen Phasen eine unterschiedliche Gewichtung. Dies reicht von der Anwendung nur eines bis zur gleichwertigen Verwendung aller unabhängigen Entwurfsmerkmale innerhalb einer Phase des Lebenslaufs. Abbildung 3-1 zeigt dies exemplarisch anhand des Lebenslaufs eines Schienenfahrzeugs.

Die Menge der anfallenden Informationen kann nur dann wirtschaftlich genutzt werden, wenn diese von allen Beteiligten im gleichen Sinne verstanden werden. Daher ist eine phasenübergreifende Integration der verschiedenen Sichtweisen erforderlich. Diese strebt die folgenden Ziele an:

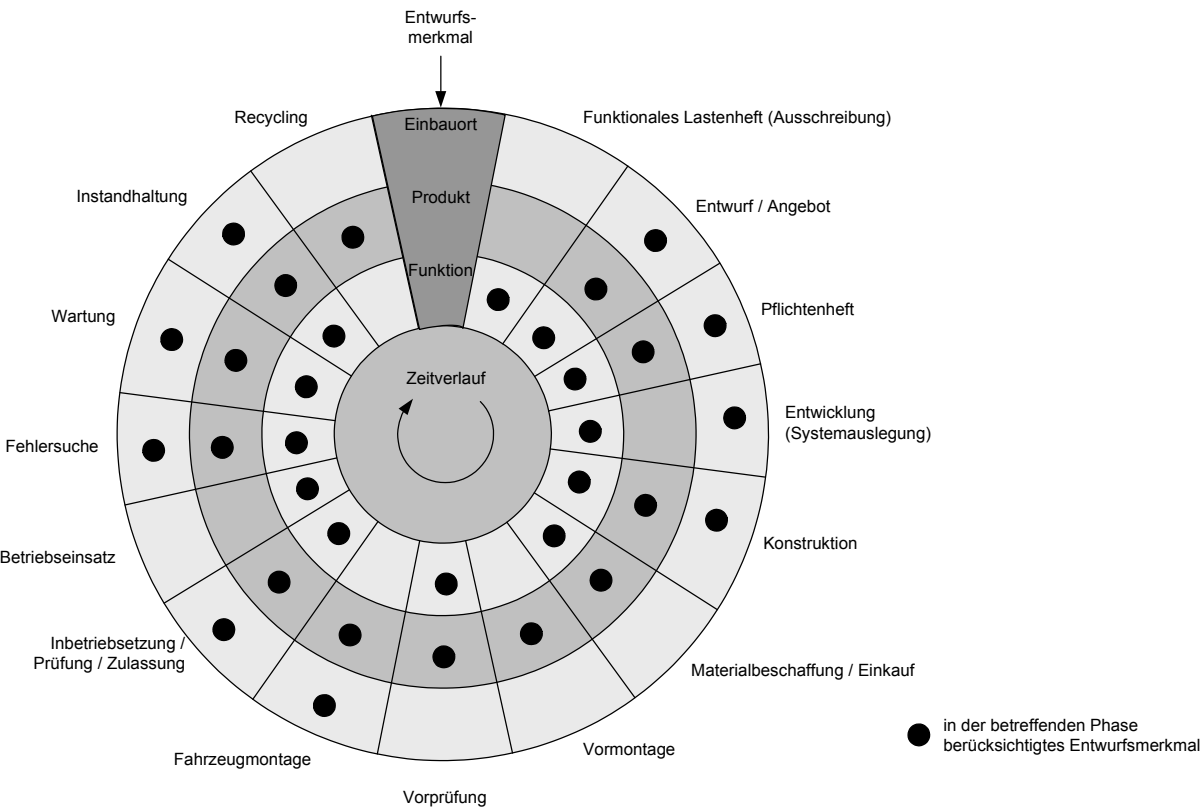


Abbildung 3-1: Sichten im Lebenslauf am Beispiel von Bahnanlagen in Anlehnung an [DIN03b]

- *Durchgängigkeit des Informationsflusses:* In der betrieblichen Praxis kommunizieren Beteiligte über Abteilungs-, Firmen- und Ländergrenzen hinweg. Es werden Produktdaten eines oder mehrerer Unternehmen für verschiedene Einsatzzwecke entlang der Wertschöpfungskette benötigt. Im Rahmen der Entwicklung technischer Systeme ist die durchgängige und konsistente Verknüpfung von Spezifikationsmodellen mit den

Entwurfsartefakten des nachfolgenden Entwicklungsprozesses gefordert, so dass eine lückenlose Nachvollziehbarkeit von Anforderungen bis hin zum generierten Code ermöglicht wird [PH08]. Ziel ist es, dass auf die im Verlauf eines Planungsprozesses definierten Objekte in weiteren Engineering- oder Projektierungsstufen zurückgegriffen werden kann. Dies äußert sich in der Regel durch ergänzend vorgenommene Attributierungen. Der sich hieraus ergebende Vorteil ist, dass beispielsweise die Produkt- und Produktionsentwicklung nicht mehr sequentiell verläuft, sondern weitgehend parallelisiert werden kann. Die Entscheidungen im Rahmen des Planungsfortschritts werden als Aktualisierung des Datenmodells festgehalten, welche den Lebenslauf der Produkte und Produktionsanlagen begleiten. Sie bilden die Entscheidungsbasis in der Planungsphase, der Inbetriebnahme und während des laufenden Betriebs [VDI00].

- *Konsistenz und Redundanzfreiheit der Datenbasis:* Über den gesamten Lebenslauf einer Anlage wird nur ein zentrales und integriertes Modell gepflegt. Die im Modell von Bearbeitern verschiedener Gewerke gepflegten Objekte sind nur einmal vorhanden. Dies garantiert eine konsistente Datenbasis auch über verschiedene Dokumente mit unterschiedlichen Sichten (beispielsweise Ortssicht, Produktsicht, Funktionssicht) des Objekts. Darüber hinaus wird erreicht, dass in einem Terminologiegebäude als System von Aussagen kein Widerspruch enthalten ist, der aus logischen Schlussfolgerungen über den gesamten Datenbestand abgeleitet werden kann.
- *Einheitlichkeit und Eindeutigkeit von Produktdaten:* Es wird ein einheitliches Datenaustauschformat, eine einheitliche Struktur sowie semantische Eindeutigkeit der zu übermittelnden Daten angestrebt. Auf dieser Basis können die Daten in unterschiedlichen Ausgabemedien bereitgestellt werden. Bislang notwendige fehlerbehaftete und kostenintensive Konvertierungen inkompatibler Daten, bilaterale Vereinbarungen des Datenaustauschs oder doppelte Datenhaltungen können entfallen, da die Daten technisch korrekt konvertiert werden können. Eine wesentliche Bedeutung kommt hierbei der *semantischen Eindeutigkeit* von Produktinformationen zu. Nicht immer verwenden unterschiedliche Hersteller in der Beschreibung ihrer Produkte dieselben Benennungen für ein und dasselbe Produktmerkmal (Attribut). Besonders augenfällig wird dies im internationalen Kontext. Eine standardisierte Struktur allgemein gültiger Produktmerkmale kann die sprachlich einwandfreie Konvertierung von Produktinformationen unterstützen und helfen, Missverständnisse auf Grund der fehlenden semantischen Eindeutigkeit der Daten zu vermeiden. Formal spezifizierte Metamodelle und die explizite Darstellung ihrer semantischen Entsprechungen können einen Beitrag zur semantisch korrekten Konvertierung von Datenbeständen leisten.
- *Vollständigkeit:* Es soll vermieden werden, dass Anwender einer Spezifikation Annahmen treffen müssen, die sich nicht zwingend mit den Annahmen anderer Anwender decken, die die Spezifikation für ihren Anwendungsfall wiederum anders auslegen. Die semantische Mächtigkeit der Beschreibung muss den Erfordernissen der folgenden Systementwicklung entsprechen.
- *Aktualität der Produktdaten:* Eine gemeinsame Datenhaltung ermöglicht eine schnelle Verteilung konsistenter Daten an alle Beteiligten und eröffnet hinsichtlich des Änderungsmanagements erhebliches Rationalisierungspotenzial. Änderungen an einer Anlage beziehen sich meist auf spezifische Dokumenttypen und Dokumente. Werden

diese lediglich als Sichten oder Repräsentationen von Objekten verstanden, muss sich die Revisionstechnik lediglich auf das Modell und nicht nur auf die Repräsentation(en) beziehen. Die Rückverfolgbarkeit von Änderungen wird somit gewährleistet.

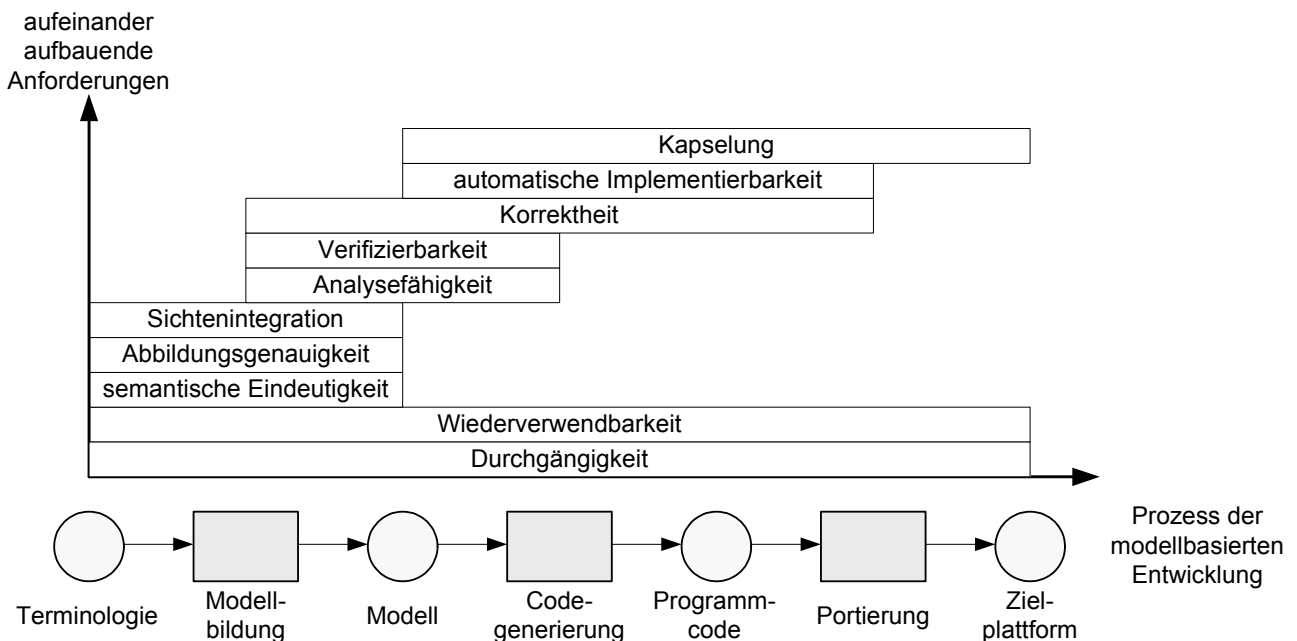
### 3.1.2 Modellbasierte Entwicklung

Bei der Entwicklung softwarebasierter Systeme wird meist eine schnelle Umsetzung oftmals unklarer Anforderungen verlangt, die zunächst nur in natürlicher Sprache vorliegen. Der Schlüssel für eine höhere Produktivität und eine bessere Qualität der Entwicklungsergebnisse wird in einer modellbasierten Entwicklung gesehen. Diese ist durch eine stärkere Fokussierung auf die Modellierung natürlich-sprachlicher Anforderungen von Anwendungen statt ihrer programmier-sprachlichen Codierung gekennzeichnet.

Ein Modell ist eine vereinfachte Abbildung eines geplanten oder real existierenden Systems in ein anderes *gedankliches* oder *gegenständliches* System, das aufgrund der Anwendung *bekannter* Gesetzmäßigkeiten oder auch *getroffener Annahmen* gewonnen wird und das System oder den Prozess bezüglich den jeweils wichtigen oder *interessanten Merkmalen* und Zusammenhängen hinreichend genau abbildet [DIN94a][VDI06][Epp08]. Ein Modell verallgemeinert und postuliert Beziehungen zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen einer Menge. Durch die vereinfachende Abbildung eines Betrachtungsgegenstandes für einen bestimmten Zweck vermag das Modell die relevanten Aspekte eines komplexen Sachverhalts prägnant wiederzugeben und abstrahiert von Unwesentlichem. Einem gut strukturierten Modell liegt gewöhnlich ein bestimmtes Modellkonzept zu Grunde, das sich zunächst in der Verwendung eines entsprechenden Beschreibungsmittels zeigt.

Die Terminologie eines Fachgebiets wird als Grundlage einer weitergehenden Modellbildung angesehen [Epp08]. Wird ein Modell auf einer soliden terminologischen Basis erzeugt, beschleunigt es die oftmals zeitintensive Codegenerierung oder vereinfacht die Portierung vorhandenen Codes auf unterschiedliche Zielsysteme. In Abbildung 3-2 ist dargestellt, inwiefern die an eine modellbasierte Entwicklung gestellten Anforderungen eine Präzisierung und Disambiguierung natürlicher Sprache voraussetzen. Das gesamte Potenzial einer modellbasierten Entwicklung kann nur dann voll ausgeschöpft werden, wenn ein gleiches Verständnis über die dem Entwurf zu Grunde liegende Terminologie herrscht.

Für eine modellbasierte Entwicklung lassen sich die folgenden aufeinander aufbauenden Anforderungen ableiten:



**Abbildung 3-2: Anforderungen an einen modellbasierten Entwicklungsprozess**

- *Durchgängigkeit:* Die Modellierung soll sich nahtlos in den Entwicklungsprozess einfügen. Das Modell soll über verschiedene Stufen der Systementwicklung sukzessive verfeinert werden und keine fehleranfällige Modelltransformation erfordern. Auf jeder Ebene soll eine Verifikation möglich sein.
- *Wiederverwendbarkeit:* Einmal entwickelte formale Modelle sollen flexibel für ähnliche Entwicklungsaufgaben eingesetzt werden können. Eine zukünftige Weiterentwicklung technischer Systeme wird somit beschleunigt und erfordert deutlich weniger Aufwand.
- *Semantische Eindeutigkeit:* Nur wenn die Interpretation des Modells durch den Modellersteller und den Modellbenutzer identisch ist, kann das Modell als Grundlage einer Kommunikation dienen und der Modellinhalt wird „richtig“ vermittelt. Dazu müssen die Elemente, aus denen sich das Modell zusammensetzt (Sigmatik) und ihre Kombinationen (Syntaktik) und ihre Bedeutung (Semantik) eindeutig definiert sein. Sigmatik, Syntaktik und Semantik sind durch das Beschreibungsmittel vorgegeben, in denen das Modell abgefasst ist (vgl. Abschnitt 3.2.3). Dies kann auch natürliche Sprache sein.
- *Abbildungsgenauigkeit:* Das Modell sollte den modellierten Gegenstands-bereich möglichst vollständig und hinreichend detailliert abbilden. Hinsichtlich seiner Ergebnisse sollte es eine möglichst große Genauigkeit aufweisen.
- *Sichtenintegration:* Das Modell repräsentiert günstigstenfalls alle Sichtweisen auf das zu entwickelnde System (vgl. Abschnitt 3.1.1).
- *Analysefähigkeit:* Das Modell sollte nach akzeptabler Verarbeitungszeit analytisch genaue Ergebnisse liefern. Auf der Basis eines ausführbaren Modells können Erkenntnisse gewonnen werden, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

- *Verifizierbarkeit*: Das Modell soll in einer Gestalt vorliegen, die eine formale Verifikation ermöglicht. Systemabläufe können mathematisch präzise auf bestimmte und definierbare kritische Eigenschaften analysiert und Fehler bereits frühzeitig aufgedeckt werden. Eine automatische Testgenerierung erzeugt Testsequenzen für ein System- oder Komponentenmodell, die das Modell nach festgelegten Kriterien überdecken oder stimulieren [HBP+07][PH08].
- *Korrektheit*: Das Modell soll den modellierten Gegenstandsbereich konsistent und widerspruchsfrei darstellen.
- *Automatische Implementierbarkeit*: Die Modellbasierung unterstützt die Codegenerierung. Die Software ist nicht mehr ein Produkt langwierigen und fehleranfälligen manuellen Codierens, sondern leitet sich automatisiert aus den Modellen ab.
- *Kapselung*: Die Modelle sollen unabhängig von ihrer jeweiligen Implementierung gedacht werden und unverändert erhalten bleiben. Dies betrifft zum einen eine konsequente Trennung von der jeweiligen Programmiersprache. Werden Modelle mittels Codegenerators in den Zielcode übersetzt, muss bei Verwendung einer anderen Programmiersprache lediglich der Codegenerator ausgetauscht werden. Zum anderen betrifft dies die Unabhängigkeit von einer spezifischen gerätetechnischen Plattform. Modellbasierung unterstützt die Portierung, da erst im letzten Schritt die Abbildung des plattformunabhängigen Modells auf eine konkrete Zielumgebung erfolgt. Dieser Ansatz, der auf einer klaren Trennung von Funktion und gerätetechnischer Implementierung beruht, wird unter anderem von der Object Management Group mit dem Ansatz „Model Driven Architecture“ (MDA) [Obj09] verfolgt und standardisiert.

Es wird deutlich, dass bezüglich der geschilderten Anforderungen Zielkonflikte vorliegen. Oftmals sind einfache Modelle zwar vollständig analysierbar, vereinfachen die Realität jedoch zu stark. Im anderen Extrem bilden komplexe Modelle die Realität genau ab, sind jedoch nicht mehr analysierbar. Die Komplexität eines Modells äußert sich hierbei in der Anzahl der betrachteten Objekte und den zwischen ihnen bestehenden Relationen. Ziel der Modellbildung ist es, Modelle zu identifizieren, die sich der Realität möglichst gut annähern und weiterhin eine gute Analysierbarkeit aufweisen. Dies stellt oftmals einen Kompromiss in der Modellbildung dar.

#### 3.1.3 Terminologische Stringenz

Als verbindlicher Ausdruck eines anerkannten Sprachgebrauchs schaffen Normen im Allgemeinen einen Maßstab für ein rechtlich einwandfreies technisches Handeln [DIN94b]. Der Terminus der anerkannten Regeln der Technik umfasst auf gesicherten Erkenntnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung beruhende technische Festlegungen, die von einer Mehrheit der Fachleute als Wiedergabe der zu einem Zeitpunkt bestehenden technischen Möglichkeiten angesehen wird [DIN07]. Normen repräsentieren die anerkannten Regeln der Technik. Die Grundlage der Normung ist ein gegenseitig identisches Verständnis der Terminologie des Gegenstandsbereichs, was zunächst eine saubere Bestimmung und eine eindeutige Bezeichnung von mental verorteten Begriffen erfordert [Hän08]. Nur wenn alle Beteiligten den genormten Gegenstandsbereich im gleichen Sinne verstehen, kann die Normung die Ziele der Rationalisierung und Qualitätssicherung in Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung sowie der Gewährleistung der Sicherheit für Menschen und

Sachwerte erreichen.

Die Terminologie in den Normen hat somit die folgenden Ziele zu erfüllen:

- *Konsistenz* im Sinne einer Widerspruchsfreiheit zur Festlegung anderer Termini. Hier offenbart sich Systemhaftigkeit der Termini, indem man auf vorhandene terminologische Zusammenhänge zurückgreift [Flu96].
- *Vollständigkeit* hinsichtlich der inhaltlichen Merkmale,
- *Eindeutigkeit und Redundanzfreiheit der Bezeichnungen* durch Vermeidung von Mehrfachbenennungen (Synonyme: unterschiedliche sprachliche Ausdrücke für dieselbe Bedeutung) und Mehrdeutigkeiten (Homonyme und Polyseme: ein sprachlich gleich lautender Ausdruck steht für mehrere Bedeutungen). Stattdessen wird eine sprachliche Präzision im Sinne einer Mononymie (eine Bedeutung wird nur durch einen sprachlichen Ausdruck repräsentiert) und Monosemie (ein sprachlicher Ausdruck repräsentiert nur eine Bedeutung) angestrebt.
- *Exaktheit*: Unter Exaktheit ist ein möglichst adäquater Bezug fachsprachlicher Ausdrücke zu den Gegenständen, Sachverhalten und Vorgängen des außersprachlichen Gegenstandsbereichs zu verstehen. Die Exaktheit ergibt sich aus der einzelnen Definition und ihrer Einbindung in das definitorische Wortschatzsystem [Roe99] aus dem heraus deutlich wird, in welcher Beziehung der betrachtete Terminus zu anderen steht. Nur auf diese Weise wird das für eine effektive Kommunikation notwendige gemeinsame Verständnis erreicht.
- *Verständlichkeit* als ein möglichst adäquater Bezug zum Rezipienten [Hom03].
- *Sprachliche Ökonomie* im Sinne einer Effizienz der Darstellung: Durch zusammengesetzte Substantive (Determinativkomposita) werden in technischen Fachsprachen als wichtig erachtete Merkmale des zu benennenden Gegenstands sprachlich gefasst. Ein sonst durch längere und umständliche Konstruktionen wie präpositionale Fügungen, Attribute, oder Relativsätze zu umschreibende Bedeutung eines sprachlichen Ausdrucks wird durch die Zusammensetzung in einer Benennung ökonomisch zusammengefasst [VDI77]. Jedoch ist diese Art der Wortbildung auch kritisch zu reflektieren, da die durch Zusammensetzungen ausgedrückte semantische Differenzierung keinen systematischen Regeln folgt. Dies wird anhand einiger Beispiele deutlich. Beim Wort *Rosinenkuchen* wird durch die Determinativkomposition die Beschaffenheit eines Kuchens hinsichtlich seiner Zutaten hervorgehoben. Demgegenüber wird mit der Wortbildung *Baumkuchen* nicht auf die Bestandteile des Kuchenteigs abgehoben sondern auf die zylindrische, stammähnliche Form des Kuchens Bezug genommen. Beim Ausdruck *Geburtstagskuchen* steht der Anlass der Zubereitung des Kuchens im Vordergrund [Hom03].
- *Memorierbarkeit* ermöglicht es, sich die Benennung zu merken und sich so die entsprechende Bedeutung wieder schneller ins Gedächtnis zu rufen. Mögen hinsichtlich der Präzision einer gebildeten Benennung Determinativkomposita (siehe sprachliche Ökonomie) vorteilhaft sein, so ist bezüglich der Sprachrezeption die limitierte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses maßgeblich [Sch06]. Aus diesem Grund sind kurze und prägnante Benennungen anzustreben, die jedoch nicht auf Kosten der Präzision gehen sollten.



- *Anpassungsprinzip*: Die Terminologie sollte den Anforderungen der Benutzer angepasst sein. Beispielsweise sollten nur die Termini enthalten sein, die wirklich benötigt werden. Es müssen aus der Gesamtmenge der Termini nach kontrollierten Verfahren Teilmengen reduziert werden können [Hom03].

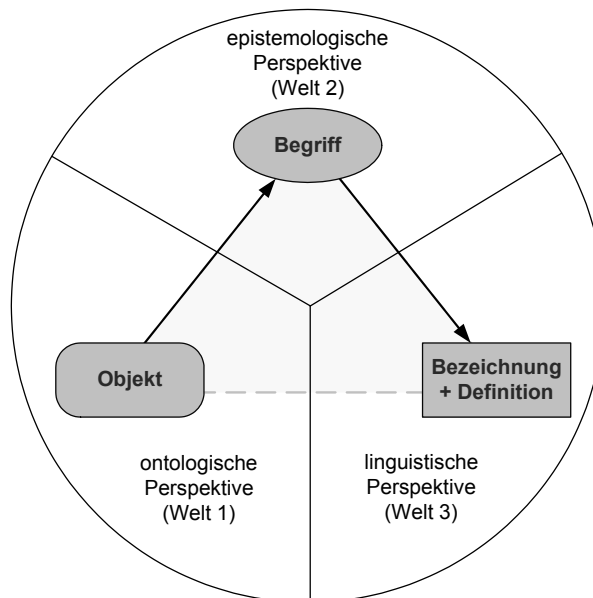
## 3.2 Methodische Modellbildung

Modelle treten zunächst fast immer als sprachliche Repräsentationen in Form von geschriebenem oder gesprochenem Text, Bildern oder Grafiken auf und verweisen auf etwas anderes (das jeweils Repräsentierte). Somit wirken sie als Zeichen im Sinne der Semiotik [HM08]. Mit Beschreibungsmitteln ist es möglich, Modelle hinsichtlich gewisser ausgewählter Fragestellungen abzubilden. Ohne unterstützende Werkzeuge ist der Einsatz von Beschreibungsmitteln bei allen Tätigkeiten im Lebenslauf technischer Systeme nur begrenzt von Nutzen. Notwendigerweise beziehen sich die Werkzeuge auf bestimmte Beschreibungsmittel und verkörpern die technische Umsetzung von Methoden. Nach den Anfangsbuchstaben der Entwicklungsmittel Beschreibungsmittel, Methoden und Werkzeugen wird dieser methodische Ansatz als BMW-Prinzip bezeichnet [Sch99].

### 3.2.1 Semiotische Dimension von Modellen

Wie jedes Zeichen haben Modelle einen sigmatischen, syntaktischen, semantischen und pragmatischen Aspekt. Das (sprachliche) Zeichen selbst ist eine Modellvorstellung der Sprachphilosophie und Linguistik [Kel95]. Da eine eindeutige und standardisierte Terminologie Grundlage aller im Weiteren entwickelten Konzepte und Modelle darstellt, werden die semiotischen Gesichtspunkte von Modellen anhand der Idee des Terminus dargestellt. Die semiotischen Aspekte finden sich in dem von Ogden und Richards postulierten semiotischen Dreieck wieder (vgl. Abbildung 3-3) [OR74]. Eine ähnliche Deutung wurde von Karl Popper unter der Bezeichnung Drei-Welten-Theorie vorgenommen [Pop84].

- Das *Objekt* der realen oder vorstellbaren und damit außersprachlichen Welt steht direkt im Zusammenhang mit Begriffen (als mentale Repräsentationen) und indirekt mit Bezeichnungen.
- Ein *Begriff* ist das mentale Konstrukt, das nur in den Gedanken des menschlichen Senders oder des Empfängers von Informationen existiert. Die bloße mentale Repräsentation befreit den Begriff von der Bindung an eine Sprache.
- Unter der *Bezeichnung* wird im Gegensatz dazu die sprachliche, lautliche oder anderweitige Darstellung des Begriffs verstanden. Informationen beinhalten eine Bezeichnung als Repräsentant für den mental verorteten Begriff. Damit sind Bezeichnungen an eine (natürliche) Sprache gebunden.



**Abbildung 3-3: Das semiotische Dreieck nach [OR74]**

Die aus diesen drei verschiedenen Konstituenten Begriff, Bezeichnung und Objekt erwachsenden Beziehungen werden aus dem dargestellten semiotischen Dreieck deutlich. Abbildung 3-3 zeigt, dass zwischen einer Bezeichnung als sprachlicher Repräsentation und dem repräsentierten Gegenstand kein direkter natürlicher Zusammenhang besteht. Erst der Beobachter stellt diesen indirekt durch seine persönliche kognitiv/mentale Konstruktion her [Gla97]. Dies gilt sowohl für das als Modellierung bezeichnete Herstellen einer Repräsentation für das Original als auch beim Interpretieren einer Modellrepräsentation in der Gestalt eines repräsentierten Objekts [HM08].

Neben der Sigmantik, Syntaktik und Semantik verfügt das Modell über einen pragmatischen Bezug. Dieser bestimmt Sinn und Zweck sowie Art und Tiefe der Modellierung [HM08]. Es lassen sich folgende Zwecke identifizieren:

- *Erkenntnisgewinnung*: Im Modellierungsvorgang werden Fragen aufgeworfen. Dies verbessert das Systemverständnis, deckt Spezifikationslücken auf und hilft, widersprüchliche und unpräzise Vorgaben zu identifizieren [Kno07].
- *Kenntnisvermittlung* (Erklärungsmodell [Epp08]): Die Kommunikation innerhalb eines Projektteams wird durch ein gemeinsames Modell erleichtert.
- *Entscheidungsunterstützung* (Planungsmodell [Epp08]): Entscheidungen in verschiedenen Phasen des Lebenslaufs können durch Modelle fundiert werden. Beispiele hierfür sind die Bewertung unterschiedlicher Design- und Architekturvarianten (Designmodell [FHR08]) und die Nutzung von Modellen in Diagnosesystemen [VDI00].
- *Systemimplementierung*: Das System wird auf Modellbasis realisiert (konstruktives Modell [FHR08]).
- *Systemanalyse*: Das Modell wird für die formale Verifikation und Validierung genutzt (analytisches Modell [FHR08]).
- *Kenntnisspeicherung*: Auf der Grundlage eines Modells kann Wissen um einen

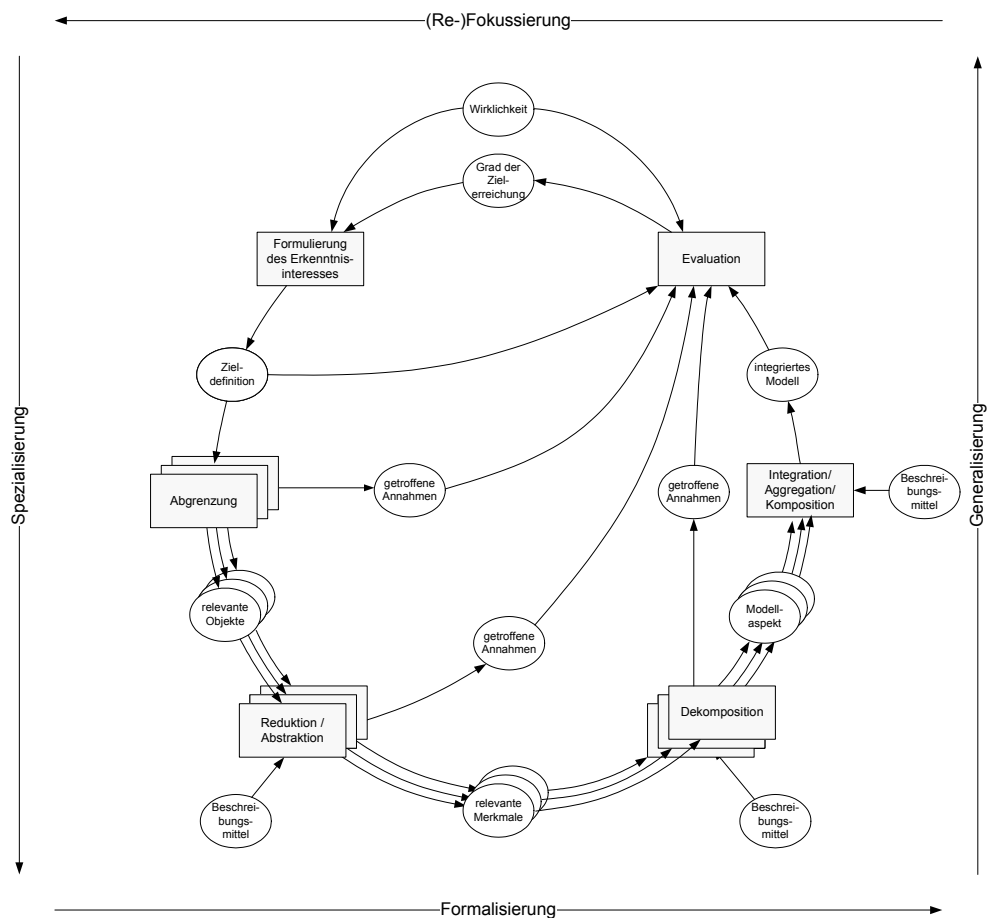
Gegenstand unter anderem als Basis für Entscheidungen gesammelt werden.

### 3.2.2 Vorgehensweise der methodischen Modellbildung

Bewusste oder intuitive Modellbildung ist die zentrale ingenieurwissenschaftliche Methode in der Entwicklung technischer Systeme [Sch99]. Die Modellbildung ist ein strukturierter Prozess aufeinander folgender Phasen, der gegebenenfalls iterativ ist. Der entsprechend dem Planungsfortschritt des technischen Systems zunehmende Detaillierungsgrad eines Modells und die Bewertung des Modells erfordern möglicherweise seine Überarbeitung. Abbildung 3-4 stellt diesen Ablauf schematisch dar. Die einzelnen Prozessschritte werden nachfolgend erläutert.

- *Formulierung des Erkenntnisinteresses:* In einem ersten Schritt wird die wissenschaftliche Fragestellung formuliert. Sie äußert sich in einer Zieldefinition, welche die spezielle Fragestellung, die gewünschte Ergebnisgenauigkeit sowie die notwendige Modelldetaillierung enthält.
- *Abgrenzung:* Auf der Grundlage der Zieldefinition findet eine Abgrenzung des zu entwickelnden Modells zur Wirklichkeit der Objekte des Gegenstandsbereichs statt. Zu diesem Zeitpunkt getroffene Annahmen (die Nichtberücksichtigung für die betreffende Fragestellung irrelevanter Objekte) sind zu fixieren, um später das Modell evaluieren zu können. Im weiteren Verlauf werden nur die für die betreffende wissenschaftliche Fragestellung relevanten Objekte weiter betrachtet.
- *Reduktion/Abstraktion:* Sind die für die betrachtete Fragestellung relevanten Objekte ermittelt, werden in einem nächsten Schritt die wichtigen Merkmale der betrachteten Objekte identifiziert. Es findet eine Verringerung der Komplexität durch Vernachlässigung von Nebenaspekten statt. Hierbei ergeben sich die zu vernachlässigenden Aspekte gegebenenfalls aus der Wahl des Beschreibungsmittels, dessen eingeschränkte semantische Mächtigkeit gewisse Eigenschaften und Aspekte des betreffenden Gegenstandsbereichs nicht abzubilden vermag. Das Abstrahieren von unwesentlichen Eigenschaften stellt nur die aus einer gewissen Sicht oder auch aus dem beabsichtigten Zweck resultierenden, relevanten Eigenschaften dar. Auch nach diesem Schritt werden die getroffenen Annahmen (Verzicht auf Objektdetails oder unwichtige Einzelheiten) für eine spätere Evaluation des Modells fixiert.
- *Dekomposition:* Die identifizierten Objekte werden weiter zerlegt und in einzelnen Segmenten schrittweise verfeinert. Auch dieser Schritt wird mit Hilfe eines geeigneten Beschreibungsmittels vollzogen. Auf dieser Ebene müssen Annahmen über den Detaillierungsgrad des Modells getroffen und dokumentiert werden. Möglichen Erkenntnisgewinnen durch eine detailliertere Darstellung systemischer Zusammenhänge stehen die Nachteile einer zunehmenden Komplexität des Modells gegenüber.
- *Integration/Aggregation/Komposition:* Einzelne Teilaspekte eines Modells werden zu einem Gesamtmodell aggregiert. Gegebenenfalls findet hier die Integration heterogener Modellwelten statt [Sch03].

- *Evaluation*: Das Modell wird bezüglich verschiedener Fragestellungen bewertet. Die *Korrektheit* des Modells bezeichnet seine Widerspruchsfreiheit und somit die Zulässigkeit logischer Schlussfolgerungen. Die *Validität* des Modells bezeichnet, ob das Modell die wissenschaftliche Fragestellung adäquat darstellt und ob die vereinfachenden Annahmen bezüglich der relevanten Objekte (Abgrenzung), ihrer für die Fragestellung interessierenden Merkmale (Reduktion) sowie des Grades der Dekomposition zutreffend sind. Es ist sicherzustellen, dass das Modell das System genau genug und fehlerfrei widerspiegelt. Da Modelle im Rahmen der Systementwicklung kommunikativen Zwecken dienen, muss ebenfalls die *Expressivität* (Ausdruckskraft) des Modells bewertet werden. Es ist hierbei zu prüfen, inwieweit die Struktur und die Repräsentation des Modells angemessen sind.



**Abbildung 3-4: Vorgehensweise der Modellbildung**

Für die Zwecke einer durchgängigen Methode über alle Entwurfsphasen hinweg ist eine gewisse Ökonomie erforderlich, also eine Beschränkung auf „richtige“ Konzepte, die zudem adäquat zu modellieren und formalisieren sind. Aus Gründen der Effizienz, wie auch zur Vermeidung von Konvertierungsfehlern, ist darüber hinaus eine durchgängige Modellierung über alle Entwicklungsphasen zu wählen. Von übergeordneter Bedeutung ist ein durchgängig verwendetes Beschreibungsmittel, welches das Modell für alle Entwicklungsphasen adäquat abbilden kann und somit den Verifikationsprozess maßgeblich unterstützt.

### 3.2.3 Formalisierung durch Beschreibungsmittel

Beschreibungsmittel sind textuelle, symbolische oder grafische Mittel zur Darstellung von Sachverhalten im Lebenslauf einer Automatisierungstechnischen Einrichtung [VDI05b]. Auf dieser abstrakten Betrachtungsebene ist jede Form von Zeichen, Buchstaben oder anderen Symbolen ein Beschreibungsmittel, welches hinsichtlich seiner semiotischen Aspekte (Sigmatik, Syntaktik und Semantik) mehr oder weniger definiert ist.

- Die *Sigmatik* betrachtet die Relation darstellbarer (atomarer) Zeichen zu Gegenständen, Eigenschaften, Beziehungen und Sachverhalten der außersprachlichen Wirklichkeit [Hom03]. Bei einem grafischen Beschreibungsmittel sind dies beispielsweise die unterschiedlichen Notationselemente.
- Die *Syntaktik* betrachtet das Verhältnis der Zeichen untereinander sowie die formalen Regeln, wie Zeichen zu gültigen Kombinationen zusammengesetzt werden [Hom03].
- Die *Semantik* (Bedeutungslehre) betrachtet den Zusammenhang (sprachlicher) Zeichen und den von ihnen hervorgerufenen Bedeutungen als gedankliches Abbild eines Objekts der außersprachlichen Wirklichkeit [Löb02][Hom03].

#### Formalisierungsgrade von Beschreibungsmitteln

Beschreibungsmittel lassen sich hinsichtlich ihres Formalisierungsgrads in informale, semi-formale und formale Beschreibungsmittel unterscheiden [VDI05b]. Unter Formalisierung wird die Reduktion auf eine definierte Menge von Symbolen (Sigmatik), Regeln für zulässige Kombinationen von Zeichen (Syntax) und Operationen mit Symbolen nach Maßgabe der Zeichenbedeutung (Semantik) verstanden [VDI05a]. Ziel der Formalisierung ist die Vermeidung einer unvollständigen, widersprüchlichen, missverständlichen und mehrdeutigen Spezifikation. Darüber hinaus offenbaren sich schnell die wirtschaftlichen Vorteile, die sich damit im Rahmen einer modellbasierten Entwicklung erschließen.

Die Formalisierung als „Beschreibung der Beschreibungsmittel“ recurriert zwangsläufig wieder auf bekannte Beschreibungsmittel, mit der auf einer Metaebene auf bekannte (Umgangs-)Sprachen zurückgegriffen werden muss [Kno07]. Der Formalisierungsgrad des Beschreibungsmittels ergibt sich aus der Beantwortung der Frage, inwieweit verbindliche Festlegungen von Regeln auf den Ebenen der Sigmatik, Syntaktik und Semantik selbst über eine formale (in der Regel mathematisch fundierte) Basis verfügen, die ihrerseits eine formale mathematische Überprüfung des modellierten Gegenstandsbereichs ermöglicht. Abbildung 3-5 verdeutlicht, wie der zunehmende Formalisierungsgrad von der formalen Spezifikation der semiotischen Aspekte des Beschreibungsmittels abhängig ist.

Die europäische Normung für die Entwicklung von Software für Eisenbahnsteuerungs- und -überwachungssysteme [DIN01c] empfiehlt den Einsatz semi-formaler oder formaler Beschreibungsmittel im Rahmen der Anforderungsspezifikation und der Implementierung leit- und sicherungstechnischer Systeme für den Eisenbahnverkehr zur Verbesserung der Entwurfsqualität.

		semiotische Aspekte des Beschreibungsmittels			Beispiel
		Sigmatik	Syntaktik	Semantik	
Formalisierungsgrad des Beschreibungsmittels	informal	unvollständig definierte Symbolmenge	informal definiert	informal definiert	- natürliche Sprache
	semi-formal	vollständig definierte Symbolmenge	ggf. eindeutig, vollständig und widerspruchsfrei mathematisch definiert (häufig lediglich informal definiert)	informal definiert	- MSC (Message Sequence Charts) - SA (Strukturierte Analyse)
	formal	vollständig definierte Symbolmenge	eindeutig, vollständig und widerspruchsfrei mathematisch definiert	eindeutig, vollständig und widerspruchsfrei mathematisch definiert	- Petrinetze - Programmiersprachen

Abbildung 3-5: Formalisierungsgrade von Beschreibungsmitteln

Semantische Mächtigkeit von Beschreibungsmitteln

Beschreibungsmittel stellen eine Möglichkeit dar, ein Modell hinsichtlich verschiedener ausgewählter Fragestellungen darzustellen. Bei der methodischen Modellbildung (vgl. Abschnitt 3.2.2) dient das Beschreibungsmittel der Speicherung verschiedener Sichten. Für die Auswahl eines geeigneten Beschreibungsmittels ist neben seiner formalen Basis seine semantische Mächtigkeit von herausragender Bedeutung. Es lassen sich nur die Eigenschaften und Aspekte eines Systems, die durch die Semantik des ausgewählten Beschreibungsmittels abgedeckt sind, auch tatsächlich erfassen [Kno07]. Handelt es sich um eine Sprache mit eingeschränkter semantischer Mächtigkeit, sind zusätzliche Informationen im Laufe des Umsetzungsprozesses in die Systembeschreibung einzubringen. In der Arbeit von [Jan97] wurde aufbauend auf einer Modellierung der kognitiven Entsprechung formaler Beschreibungsmittel eine vergleichende Untersuchung verschiedener Beschreibungsmittel vorgenommen. Hierauf aufbauend wurde in [CJS98] ein Bewertungsrahmen vorgestellt, der Kriterien für eine Beurteilung der semantischen Mächtigkeit von Beschreibungsmitteln enthält. Es wird hierbei bewertet, inwieweit eine Verhaltensbeschreibung, eine explizite Zeitdarstellung, die Abbildung struktureller Aspekte sowie die Darstellung von Synchronisationsmechanismen möglich ist. Der Bewertungsrahmen für Beschreibungsmittel hat sich mit der Richtlinie [VDI05b] zum anerkannten Stand der Technik weiterentwickelt.

3.2.4 Werkzeugunterstützung

Planen, Entscheiden und Problemlösen in neuen Situationen sind Denkleistungen auf dem höchsten Niveau menschlicher Informationsverarbeitung. Diese Tätigkeiten entsprechen dem wissensbasierten Verhalten. Die für diese Art von kognitiven Prozessen charakteristische

Störanfälligkeit gegenüber äußeren Bedingungen und die damit verbundene höhere Wahrscheinlichkeit für Fehlhandlungen kann durch technische Informations- und Unterstützungssysteme (Rechnerwerkzeuge) vermindert werden. Neben der Erhöhung der Qualität des zu spezifizierenden technischen Systems wird durch kürzere Entwicklungszeiten und verringerte Fehlleistungen eine Kostenreduktion möglich. Wegen der steigenden Komplexität technischer Systeme wird in Zukunft die Bedeutung der Werkzeugunterstützung für eine methodische Systementwicklung weiter zunehmen.

Ein Rechnerwerkzeug kann die methodische Systementwicklung hinsichtlich folgender Teilaufgaben unterstützen:

- Unterstützung des *Modellaufbaus und der Dateneingabe*: Über einen grafischen Editor kann der Ablauf beliebiger Prozesse beschrieben werden [FPU+07]. Die Umsetzung des Gedankenmodells in die formalen, vordefinierten Strukturen erfolgt durch alphanumerisch oder graphisch orientierte Benutzungsoberflächen [VDI00].
- Die *Verwaltung des zu erstellenden Modells* umfasst die Eingangsdaten, die internen Modelldaten und die Resultatdaten. Ein spezifiziertes Daten-austauschformat erlaubt den Export von Prozessbeschreibungen in andere CAE-Werkzeuge (Computer Aided Engineering).
- Überprüfung der syntaktisch und semantisch korrekten Anwendung des verwendeten Beschreibungsmittels.
- Unterstützung bei der *Lösung der bei der Entwicklung entstehenden Optimierungsprobleme*: Das Bestimmen einer hinsichtlich Kosten und der Einhaltung von Zuverlässigkeitszielen optimalen Zuordnung von Funktionen zu Ressourcen kann durch computergestützte Werkzeuge unterstützt werden. In der Planung erfolgen Festlegungen bislang intuitiv ohne zu wissen, ob das Optimum gefunden wurde.
- Unterstützung bei der *formalen Analyse* des erstellten Modells zum Nachweis der Eignung im Betrieb.
- Unterstützung der *Validation* des Systemverhaltens durch Simulation: Auf der Basis des formal spezifizierten Modells können Untersuchungen durchgeführt werden, um Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen. Das Simulationsmodell stellt eine Abstraktion des zu simulierenden Systems dar (Zustand, Funktion, Struktur und Verhalten). Das Werkzeug kann bei der Simulationsauswertung unterstützen, indem statistische Auswertungen erstellt und Simulationsläufe unterschiedlicher Modellparameter verglichen werden.

### 3.3 Herleitung des methodischen Ansatzes

In diesem Abschnitt wird der methodische Ansatz der Arbeit vorgestellt. Abschnitt 3.3.1 enthält das Vorgehensmodell der formalisierten Bedeutungsfestlegung. Die folgenden Abschnitte konkretisieren das Vorgehensmodell, indem mit der Formulierung, Formalisierung, Quantifizierung, Integration und Verifikation terminologischer Zusammenhänge spezifische Teilaspekte des methodischen Vorgehens erläutert werden.

### 3.3.1 Vorgehensmodell der formalisierten Bedeutungsfestlegung

Zur Überwindung der sprachlichen Beliebigkeit und Flexibilität mittels stabiler Terminologiegebäude wird ein neuer Ansatz vorgeschlagen und im Folgenden entwickelt. Hierzu werden die zur fachsprachlichen Bedeutungsfestlegung notwendigen Teilschritte sequentiell beschrieben. Ihre Abfolge ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Die vertikale Achse verdeutlicht den zunehmenden Formalisierungsgrad einer Repräsentation, die horizontale Achse die damit einhergehende Erhöhung des Informationsgehalts. Die einzelnen Schritte werden nachfolgend erläutert.

Die methodische Vorgehensweise zur formalisierten Bedeutungsfestlegung erfolgt in mehreren aufeinander aufbauenden Schritten:

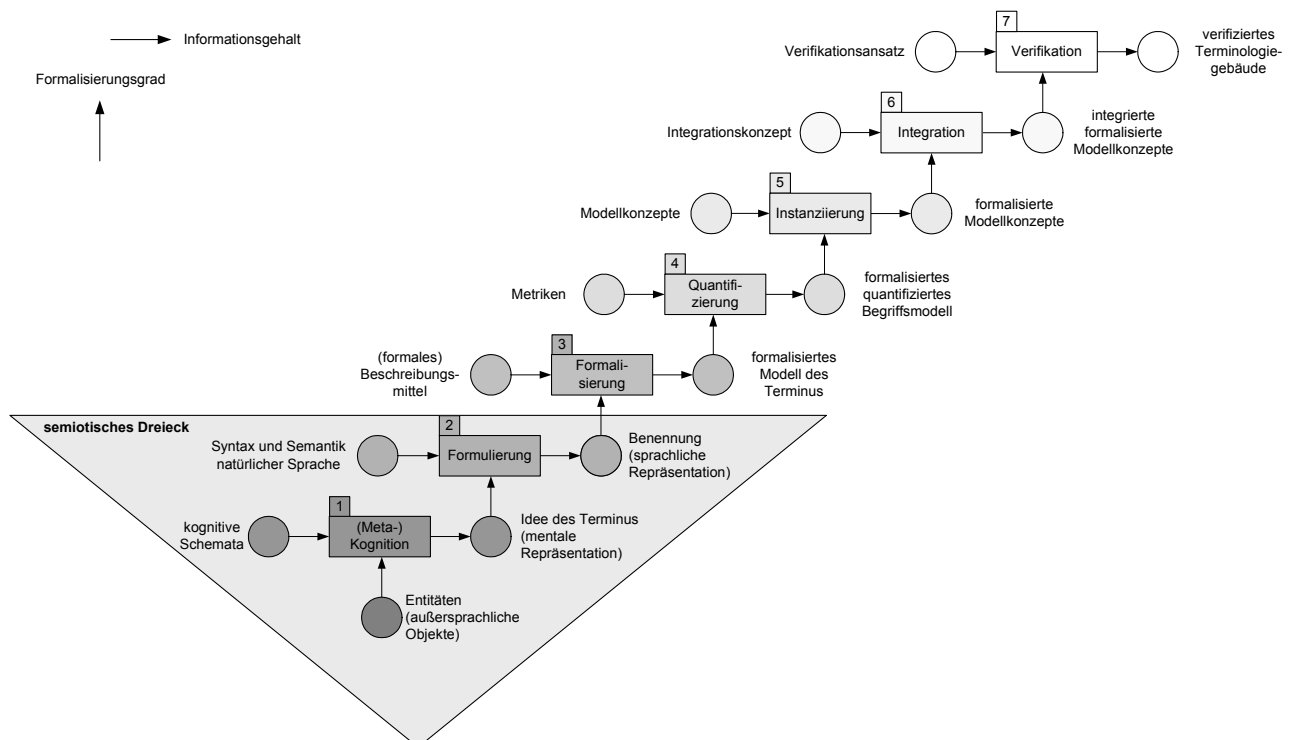


Abbildung 3-6: Vorgehensmodell der formalisierten Bedeutungsfestlegung

#### Stufe 1: (Meta-)Kognition

Die *Kognition* stellt die erste Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung dar. Es geht hierbei darum, wie Personen Informationen aus der Umwelt gewinnen, wie solche Informationen im menschlichen Gehirn repräsentiert und transformiert, wie sie gespeichert und zur Steuerung des Verhaltens und der Aufmerksamkeit herangezogen werden. Rückt die menschliche Fähigkeit zu denken selbst in den Vordergrund, wird dies als *Metakognition* bezeichnet. Diese Ansätze entstammen der Sprachphilosophie und der Linguistik und werden oftmals in Bezug zum semiotischen Dreieck [OR74] diskutiert. *Kognitive Schemata* und die das Individuum umgebenden *Entitäten* gehen in die Kognition ein und haben die *Erkenntnis* zum Ergebnis.



*Kognitive Schemata* gehen als Hilfsmittel des Menschen, den über die Sinnesorgane aufgenommenen Informationen eine Bedeutung zuzuordnen, in den Erkenntnisprozess ein. Ein Schema ist somit eine Wissensstruktur, die Informationen über ein bestimmtes Objekt oder Konzept in abstrakter, generalisierter Form enthält. Das durch die Sinnesorgane aufgenommene Abbild des Objekts (Perzept) wird mit dem Gedächtnisschema verglichen und dieser Vergleichsprozess mit einem Urteil abgeschlossen. Für diesen Vergleichsprozess sind Abstraktionsleistungen charakteristisch.

*Entitäten* gehen als Objekte der Erkenntnis in den Prozess der Kognition ein. In der klassischen Philosophie sind Entitäten alles, was überhaupt existiert und worüber etwas ausgesagt werden kann. Hierbei wird vollkommen davon abstrahiert, ob dieses Existierende materiell oder ideell objektiv oder subjektiv existiert. Ansätzen der analytischen Ontologie zufolge lassen sich alle Entitäten in grundlegende Kategorien wie beispielsweise Dinge, Eigenschaften und Ereignisse einteilen.

Die *Erkenntnis* ist das Ergebnis der kognitiven Prozesse im menschlichen Gehirn, bei dem eine Wahrnehmung einem Konzept zugeordnet werden kann. Die Zeichentheorie (Semiotik) kann als "Grundlagenwissenschaft schlechthin" aufgefasst werden und ist eine allgemeine Theorie vom Wesen, der Entstehung und dem Gebrauch von Zeichen. Im (sprach-)philosophischen und linguistischen Diskurs haben sich hierfür verschiedene Zeichenauffassungen (Zeichenmodelle) herausgebildet [Kel95]. Die bloße mentale Repräsentation dieses Sachverhalts weist den geringsten Formalisierungsgrad auf (dies entspricht der Welt 2 der individuellen Wahrnehmung nach [Pop84]).

## **Stufe 2: Formulierung**

Die *Formulierung* des zuvor entwickelten abstrakten und generischen (metasprachlichen) Zeichenmodells stellt die zweite Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung dar. Über diesen Prozess der menschlichen Sprachproduktion kann eine schriftliche oder verbale Repräsentation in natürlicher Sprache erreicht werden. Durch die Äußerung unter Nutzung des *sprachlichen Wissens* des zuvor lediglich kognitiv repräsentierten *Zeichenmodells* kann dieses unabhängig vom Einzelbewusstsein existieren und liegt somit in expliziter Form vor (dies entspricht der Welt 3 nach [Pop84]).

Das *sprachliche Wissen* geht in den Prozess der Formulierung ein. Es kann als Satz von Regeln aufgefasst werden, mittels dessen aus einer endlichen Menge von Daten prinzipiell unendlich viele Sätze einer Sprache erzeugt werden können. Diese Regeln umfassen neben der Bildung von Wörtern, beispielsweise durch Anfügen von Präfixen/Suffixen oder durch Zusammensetzung zweier (oder mehrerer) selbständiger Morpheme, die Bildung wohlgeformter, grammatisch vollständiger Sätze einer Sprache. Hierbei muss die Bedeutung der verwendeten sprachlichen Ausdrücke berücksichtigt werden.

Die *sprachliche Repräsentation* ist Ergebnis der Formulierung. Sie ist die individuelle Realisierung des sprachlichen Regelsystems, welches durch das vorhandene sprachliche Wissen vorgegeben wird, in einer konkreten Situation. Hierbei werden die bestehenden (mental repräsentierten) Begriffe auf grundlegende und im Sprachsystem bereits inhärent vorhandene Strukturen abgebildet. Das sprachliche Zeichen wird somit als Terminologiegebäude repräsentiert, welches sich als geordnete Menge an Termini zeigt. Die

Ordnung selbst sind die Relationen zwischen den Termini.

### Stufe 3: Formalisierung

Die *Formalisierung* des zuvor abstrakt als Terminologiegebäude formulierten Modells des sprachlichen Zeichens ist die dritte Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung. Die Formalisierung geschieht mit Hilfe (formaler) Beschreibungsmittel. Formalisierung ist die Reduktion der sprachlichen Vielfalt auf eine definierte Menge von Symbolen, Regeln für zulässige Kombinationen von Zeichen und Operationen nach Maßgabe der Zeichenbedeutungen [VDI05a]. Ziel der Formalisierung ist die Vermeidung von Auslassungen, Widersprüchen und aus Mehrdeutigkeiten entstehenden Missverständnissen in der sprachlichen Darstellung eines Sachverhalts.

*Formale Beschreibungsmittel* gehen in den Prozessschritt der Formalisierung ein. Die Wahl geeigneter Beschreibungsmittel ist von entscheidender Bedeutung, um verschiedene Termini und Relationstypen zu repräsentieren. Durch die Reduktion des Symbolvorrats erzwingen Beschreibungsmittel eine Erkenntnis über den zu Grunde liegenden Gegenstandsbereich und erleichtern darüber hinaus die Kommunikation der mit ihrer Hilfe repräsentierten metasprachlichen (später im Sinne der Objektsprache auch außersprachlichen) Inhalte [Sch99] [Sch02a] [Sch03]. Die Problematik der Formalisierung terminologischer Zusammenhänge durch geeignete Beschreibungsmittel besteht in den unterschiedlichen Sichtweisen, die sich in der Betonung unterschiedlicher terminologischer Relationen äußern. Aus Gründen der Entwicklungsökonomie sollten möglichst wenige Beschreibungsmittel verwendet werden. Diese sollten jedoch so viel Information wie möglich beinhalten. Ziel ist es daher, hinsichtlich der verschiedenen Betrachtungsaspekte des Gegenstandsbereichs ein optimales Beschreibungsmittel zu verwenden. Dieses berücksichtigt sowohl die Gegenstände als auch die zwischen ihnen bestehenden semantischen Relationen.

Ein *formalisiertes Modell des sprachlichen Zeichens* ist das Ergebnis der Formalisierung. Dabei werden Termini als Mengenelemente mit ihren semantischen Relationen im mathematischen Sinne aufgefasst. So kann das formalisierte Terminologiegebäude unabhängig vom Bedeutungsgehalt auf logische Konsistenz geprüft werden (wie beim Vorliegen der semantischen Relation der Autohyponymie). Durch die Nutzung eines (semi-)formalen Beschreibungsmittels und entsprechender auf das Beschreibungsmittel angepasster Werkzeuge ergibt sich bereits frühzeitig die Möglichkeit einer werkzeuggestützten Verifikation (vgl. Stufe 7). Die Verifikation hat zum Ziel, die inhaltliche Konsistenz im Sinne der korrekten Abbildung der Termini und Relationen des modellierten Gegenstandsbereichs zu bestätigen. Die Verifikation wird in Abschnitt 3.3.4 thematisiert.

### Stufe 4: Quantifizierung

Die *Quantifizierung* stellt die vierte Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung dar. Sie markiert den Übergang von einer qualitativen Stufe der Bedeutungsfestlegung, die sich in einer natürlichsprachlichen Bezeichnung der Merkmalsausprägungen äußert, zu einer nunmehr quantitativen Stufe der Bedeutungsfestlegung. Das *formalisierte Modell des sprachlichen Zeichens* und *Metriken* gehen in die Quantifizierung ein und ergeben ein *formalisiertes quantifiziertes Modell des sprachlichen Zeichens*.

*Metriken* gehen in den Prozess der Quantifizierung ein, erlauben eine Operationalisierung und

beschreiben die Art und Weise, wie ein theoretisches Konstrukt gemessen werden soll. Auf der Basis solcher verbindlich vereinbarter Abbildungsvorschriften gelingt durch die Attributhierarchie von Eigenschaft, Merkmal, Größe und Wert eine weitergehende Bedeutungsfestlegung. Diese Operationalisierung im Sinne einer Definition physikalischer Größen erlaubt stets auch eine Rückübersetzung quantitativer Ausdrücke in (natürlichsprachliche) Qualitätsaussagen. Das „Quantitative ist eine bestimmte Begriffsform, die quantitative Betrachtung ist eine bestimmte (auf Messung beruhende) Methode, um die Natur, d.h. die Gesamtheit der wahrnehmbaren Wirklichkeit mit alle ihren Qualitäten, durch Erkenntnis erfassen und auch vorherbestimmen zu können“ [Car66]. Diese Rückübersetzung von Zahlenaussagen in Qualitätsaussagen ist möglich, „weil einer bestimmten Werteverteilung bestimmter Zustandsgrößen stets eindeutig bestimmte physikalische Qualitäten, schließlich bestimmte Sinnesqualitäten zugeordnet sind“ [Car66].

Das formalisierte *quantifizierte Modell des sprachlichen Zeichens* ist das Ergebnis der Quantifizierung. Hier bestätigen sich die von Rudolf Carnap genannten Vorteile [Car66]. Nach Carnap stehen zum Ersten „in den Zahlen [...] eine unerschöpfliche Menge von Bezeichnungen zur Verfügung, während eine Aufstellung immer neuer Wortnamen für Tausende von Einzel[elementen] kaum möglich ist.“ Zum Zweiten kann „die Benennung mit Zahlen [...] der qualitativen Ordnung der Elemente so angepasst werden, dass der Name eines jeden Elements zugleich seine Stellung in der Ordnung angibt.“ Zum Dritten ermöglicht es die Benennung mit Zahlen, „allgemeine Gesetzmöglichkeiten durch einen Ausdruck zusammenzufassen (nämlich durch Funktionen als mathematische Relationen zwischen den Zahlen). An Stelle einer einzigen mathematischen Gleichung müssten bei Wortbenennungen tausende von Einzelsätzen treten.“

### Stufe 5: Instanziierung

Die *Instanziierung* stellt die fünfte Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung dar, wobei hierunter das Erzeugen einer konkreten Ausprägung einer abstrakten Klasse verstanden wird. Die Instanz einer Klasse ist ein konkretes Exemplar mit konkreten Ausprägungen. Dieser Übergang vom Abstrakten zum Konkreten kann sich in einer Folge aufeinander aufbauender Instanziierungen ergeben, welche zu immer konkreteren Ausprägungen führt. Die Konkretisierung erstreckt sich von der Metasprache als einer Sprache, die über eine Sprache spricht und somit von der Identität von Symbol und Referent im semiotischen Dreieck nach [OR74] gekennzeichnet ist, bis hin zu einer Objektsprache, die auf Gegenstände des außersprachlichen Gegenstandsbereichs Bezug nimmt (dies entspricht der Welt 1 nach [Pop84]). Neben dem *formalisierten quantifizierten Modell des sprachlichen Zeichens* gehen abstrakte *Modellkonzepte* in die Instanziierung ein und ergeben ein *formalisiertes Modellkonzept*.

*Modellkonzepte* gehen in den Schritt der Instanziierung ein. Diese abstrakten Konzepte sind nicht auf einzelne Fachdisziplinen festgelegt. Sie sind vielmehr disziplinübergreifend also allgemein anwendbar. Diesen Grad an Allgemeinheit erreicht das Modellkonzept durch Abstraktion, also durch bewusste Vernachlässigung bestimmter Merkmale, um die für den Modellierungszweck wesentlichen Modelleigenschaften hervorzuheben. Dabei wird - im Gegensatz zu Modellvorstellungen einzelner Wissenschaften - kein bestimmter Abstraktionsgrad vorausgesetzt. Ein Beispiel für ein solches interdisziplinäres Erkenntnismodell

ist die Systemtheorie, in der Systeme zur Beschreibung und Erklärung unterschiedlicher Phänomene herangezogen werden.

Ein *formalisiertes Modellkonzept* als Ergebnis dieser Stufe entsteht, wenn das abstrakte Modellkonzept selbst durch Anwendung des zuvor entwickelten quantifizierten Modells des sprachlichen Zeichens seinerseits als Terminologiegebäude strukturiert wird. Der Terminus *System* kann beispielsweise nach dem vorangehenden Konzept selbst als Terminologiegebäude dargestellt werden. In weiterer Konkretisierung kann der Terminus des Systems dazu „materialisiert“ werden, beispielsweise für ein Verkehrssystem. Im Sinne der Objektorientierung wird dieser Schritt auch als Instanziierung einer Klasse bezeichnet (konkreter und abstrakter Terminus). Es ergibt sich somit eine Struktur aufeinander aufbauender Instanziierungen, welche zu immer konkreteren Termini führt.

### Stufe 6: Integration

Die *Integration* stellt die sechste Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung dar. Sie basiert auf der Anwendung eines *Integrationskonzepts* auf die vorhandenen *formalisierten Modellkonzepte*, woraus sich ein *integriertes formalisiertes Modellkonzept* ergibt.

Das *Integrationskonzept*, welches in diesen Schritt eingeht, berücksichtigt, dass bei komplexen Termini die sequenzielle Folge von Formulierung, Formalisierung, Quantifizierung und Instanziierung allein nicht hinreichend ist. Nach Saussure erhält in einer Sprache jedes Glied seinen Wert erst durch sein Stellungsverhältnis zu den anderen Gliedern einer Sprache [Sau01]. Demnach werden Termini kontextuell entwickelt. Insofern muss neben dem einen Terminus oder Terminologiegebäude auch der Kontext oder ein entsprechendes Terminologiegebäude existieren. In den Kontext wird nun der erste Terminus integriert oder beide Termini oder Terminologiegebäude werden miteinander verschränkt [Sch03].

Ein *integriertes formalisiertes Modellkonzept* ist das Ergebnis dieser Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung. Eine besondere Stabilität erreicht das komplexe und konkrete Terminologiegebäude als Ergebnis dieser Vorgehensweise naturgemäß auf der Basis eines gemeinsamen abstrakten Verständnisses, des sprachlichen Zeichens als solchem. Es wird verstärkt durch gemeinsame auf der Grundlage dieses metasprachlichen Modells instanziierten Modellkonzepte wie das des Systems und darüber hinaus durch die gemeinsame Beschreibungsmittel der verschiedenen Terminologiegebäude, welche eine Integration auf der Ebene der Formalisierung ermöglichen.

### Stufe 7: Verifikation

Die Verifikation ist die siebte Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung, welche danach trachtet, durch mathematische Verfahren analytischer Natur die Existenz bestimmter Eigenschaften zu beweisen oder zu falsifizieren [Sch99]. Das *Verifikationskonzept* und die *integrierten formalisierten Modellkonzepte* gehen in die Verifikation ein und ergeben ein *verifiziertes Terminologiegebäude*.

Das *Verifikationskonzept* nutzt das Methodenrepertoire der Informatik, welches die Möglichkeit der Verifikation der terminologischen Zusammenhänge eröffnet. Als Beispiel gilt der aus der Sprachphilosophie heraus entwickelte Satz an Werkzeugen, der im Zusammenhang mit der Methode *OntoClean* geschaffen wurde. Hiermit können Ontologien auf ihre Korrektheit bezüglich einiger grundsätzlicher Eigenschaften der

Abstraktionsbeziehung hin überprüft werden, die als taxonomische Korrektheit bezeichnet wird [Hän08]. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Konstruktion korrekter Taxonomien, welche das Gerüst einer komplexen Ontologie darstellen. Für die Integration ist das Vorhandensein korrekter Taxonomien eine notwendige Voraussetzung.

Ein *verifiziertes Terminologiegebäude* ist das Ergebnis dieser Stufe der formalisierten Bedeutungsfestlegung. Durch die Verifikation sind Inkonsistenzen, Mehrdeutigkeiten und Unvollständigkeiten offenbart worden. Es liegt nunmehr ein präzises Terminologiegebäude zur weiteren Anwendung vor.

### **Weitere Stufen: Transformation und Deduktion**

Verfügen die Termini bereits über eine formale Beschreibung, kann sich eine weitere Formalisierung im Sinne einer *Transformation* in eine Ontologiesprache anschließen. Ontologiesprachen sind formale Sprachen, welche die Terminologie einer Wissensdomäne formal beschreiben. Sie beziehen sich in aller Regel auf Termini (Klassen oder Entitäten), ihre Eigenschaften und Merkmale (Attribute) und den zwischen ihnen bestehenden Relationen (Assoziationen) sowie zusätzlicher Sprachmittel für Einschränkungen (Vorgaben von Kardinalitäten oder Wertebereichen). Die Web Ontology Language (OWL) ermöglicht beispielsweise auf Grund ihrer Kompatibilität mit Web-Standards den Zugriff vieler Beteiligten auf die Ontologie über das weltweite Netz. Liegt der terminologische Bestand in Form von Ontologiesprachen vor, können Reasoner eingesetzt werden, auf deren Grundlage sich die Möglichkeit der Deduktion neuen Wissens eröffnet. Neues Wissen kann aus vorhandenen Wissensinhalten und modellierten Axiomen abgeleitet werden.

### **Werkzeugunterstützung**

Der mechanische Prozess zur Sortierung, Herstellung der Assoziationsbeziehungen und andere Aufgaben der fachsprachlichen Bedeutungsfestlegung können heute durch Nutzung moderner Informatikmethoden und der sie ausführenden Rechnerwerkzeuge erheblich vereinfacht und verbessert werden (vgl. Kapitel 7). Die Vollständigkeit und Konsistenz kann werkzeuggestützt geprüft werden [Hän08]. Darüber hinaus wird die terminologische Kontrolle (Auflösung von Homonymen und Synonymen) und die Verwaltung von Verweisen im Sinne von semantischen Relationen möglich. Eine aktive Benutzerführung beim Aufspüren von Termini in einer Netzdarstellung wird somit erreichbar.

## **3.3.2 Formalisierungskonzept: Klassendiagramme und Petrinetze**

Die zuvor skizzierte methodische Vorgehensweise präzisiert unscharfe und vage Vorstellungen inhaltlich und bringt sie in einen konsistenten terminologischen Zusammenhang. Damit können auch die eingangs diskutierten Schwierigkeiten gelöst werden (vgl. Abschnitt 1.3.2), allerdings mit einem erheblichen intellektuellen Aufwand, der nicht immer wohlwollend angenommen wird. Gleichwohl befriedigt das erzielte Resultat (vgl. Kapitel 4 und 5).

Insbesondere die Nutzung formaler Beschreibungsmittel bietet die Vorteile einer präzisen, nachvollziehbaren und qualitätsgerechten Entwicklung. Werden jedoch für die Dokumentation der Voraussetzungen eines Entwicklungsschrittes und seines Resultats unterschiedliche Beschreibungsmittel verwendet, sind mentale Transformationen durch den Entwickler oder formale Transformationen durch zusätzliche Werkzeuge erforderlich. Bei  $n$  verschiedenen Beschreibungsmitteln sind mindestens  $n-1$  Transformationen notwendig. Da

die Transformationen meist nicht eindeutig oder unvollständig sind, ergeben sich zwangsläufig Fehler. Sie führen zu Fehlinterpretationen, Inkonsistenzen, Unterlassungen oder Falschabbildungen. Je mehr unterschiedliche Beschreibungsmittel verwendet werden, desto höher ist das Fehlerpotenzial. Dies unterstreicht die Vorteile der Verwendung möglichst weniger Beschreibungsmittel.

Mit den Klassendiagrammen der Unified Modelling Language (UML) und Petrinetzen werden in diesem Abschnitt zwei sich in ihrer semantischen Ausdrucksmächtigkeit ergänzende Beschreibungsmittel dargestellt. Ihre Eignung ist bereits mehrfach in der wissenschaftlichen Literatur vorgestellt worden, so dass an dieser Stelle auf eine gesonderte Begründung verzichtet wird [AL98][Kie06][Rum04].

### **Formalisierung mit UML-Klassendiagrammen**

Die Unified Modelling Language (UML) ist eine Sprache für die objektorientierte, grafische Darstellung des Aufbaus, des Verhaltens und der Funktionen von Systemen. Sie bietet einen standardisierten Weg, verschiedene konzeptuelle und dynamische Aspekte eines Systems in unterschiedlichen Detaillierungsgraden zu beschreiben. Der Anwendungsbereich der UML ist dabei nicht auf eine bestimmte Domäne beschränkt und nicht ausschließlich für die Beschreibung technischer Systeme geeignet. Die UML stellt verschiedene Struktur- und Verhaltensdiagramme zu Verfügung, mit denen sich die jeweiligen Systemeigenschaften abbilden lassen. Die Beschreibungsmittel mit ihrer Sigmatik, Syntaktik und Semantik sind wegen ihrer grafischen Gestalt für die Anwender leicht erlernbar und verständlich. Die UML ermöglicht eine übersichtliche und leicht verständliche Systembeschreibung [ISO05]. Diese Eigenschaft ist ein Grund dafür, dass die UML bereits eine weite Verbreitung in ingenieurwissenschaftlichen und industriellen Anwendungen gefunden hat [Ara05] [Kno07] und viele Werkzeuge hierfür verfügbar sind.

Im Folgenden wird der für diese Arbeit wichtigste Diagrammtyp der UML, das Klassendiagramm, kurz vorgestellt. Ein technischer Report des Normenausschusses Terminologie der ISO beschreibt die mögliche Anwendung der UML-Klassen-diagramme für Terminologieanalysen [ISO08a]. Klassendiagramme bilden den Kern der objektorientierten Modellierung und somit auch der UML. Dieser Diagrammtyp stellt die Struktur dar, indem die Klassen und die zwischen ihnen bestehenden semantischen Beziehungen abgebildet werden (vgl. Abbildung 3-7).

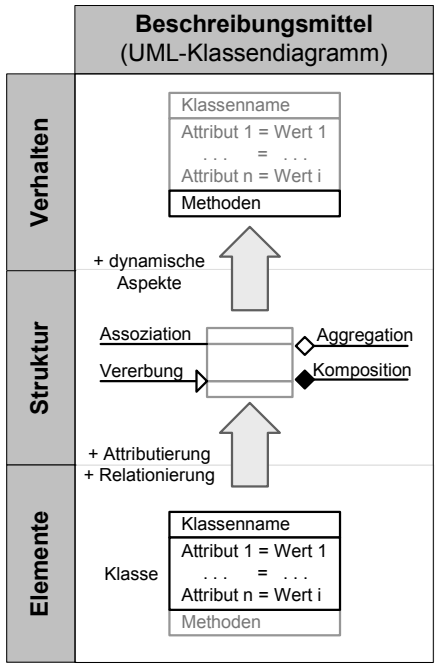


Abbildung 3-7: Klassendiagramme als Beschreibungsmittel für die Terminologieanalyse

Eine *Klasse* ist in der Objektorientierung ein abstrakter übergeordneter Terminus für die Beschreibung der Gemeinsamkeiten von Objekten. Eine Klasse kann somit im vorliegenden Kontext als „Denkeinheit, die aus einer Menge von Gegenständen unter Ermittlung der diesen Gegenständen gemeinsamen Eigenschaften mittels Abstraktion gebildet“ [DIN04a] wird, betrachtet werden. Die Klasse ist somit einem Terminus gleichzusetzen. Klassen können wie folgt näher beschrieben werden:

- *Klassenname*: Die aus einem oder mehreren Wörtern bestehende Bezeichnung erlaubt es, die Klasse zu identifizieren.
- *Attribute* spezifizieren die Eigenschaften der Objekte, die für diese Klasse gebildet werden. Attribute geben auch die Eigenschaften von Klassen wider, die zur Abgrenzung zu anderen Klassen dienen.
- *Methoden* beschreiben die Aktionen, die Objekte jeder Klasse ausführen und sind somit ein impliziter Ausdruck des Verhaltens eines Systems.

Mit der Identifizierung der Klassen werden in der Beschreibung der Systemstruktur auch die zwischen ihnen bestehenden Relationen spezifiziert. In Klassen-diagrammen können verschiedene semantische Relationen zwischen den Klassen dargestellt werden.

- *Assoziationen* können nicht-hierarchische Bedeutungsbeziehungen aufzeigen, die auf thematischen Zusammenhängen beruhen. Sie können in Klassen-diagrammen auf sich selbst bezogen sein (reflexive Assoziation) oder Zusammenhänge zu anderen Klassen herstellen. Mit einer Assoziation kann neben einer Navigationsrichtung auch eine Kardinalität angegeben werden. Diese legt die Anzahl der assoziierenden Objekte jeder Klasse fest. Assoziationen können durch Assoziationsklassen näher beschrieben werden. Diese präzisiert die Assoziation durch die Angabe von Attributen und Methoden näher.
- Die *Aggregation* wird verwendet, um eine physikalische oder konzeptuelle Zugehörigkeit

von Objekten einer Klasse zu Objekten einer anderen Klasse zu bezeichnen. Wie bei einer Assoziation kann auch hier eine Kardinalität angegeben werden.

- Die *Komposition* verdeutlicht eine exklusive und existenzabhängige Beziehung zwischen dem Ganzen und seinen Teilobjekten. Auch hier kann die Anzahl der Objekte, die an einer exklusiven und existenzabhängigen Zugehörigkeitsrelation beteiligt sind, über Kardinalitäten festgelegt werden.
- Die *Vererbung* ist die Übergabe aller Attribute, Aktionen, Relationen und der Methoden der Generalisierungsklasse an die Spezialisierungsklasse. Die Spezialisierungsklasse erweitert oder überschreibt eventuell geerbte Eigenschaften.

Das Beschreibungsmittel Klassendiagramm stellt die statische Struktur von Systemen im Sinne der zwischen Klassen bestehenden Relationen geeignet dar. Zwar kann auch das Verhalten eines Objekts durch die Angabe von Methoden beschrieben werden, jedoch ist diese Art der Darstellung für den Benutzer nicht intuitiv. Diesen Nachteil der Klassendiagramme vermeiden prozedurale Beschreibungsmittel. Sie stellen die kausalen und temporalen Bedeutungsbeziehungen explizit dar. Petrinetze werden als ein Beispiel solcher Beschreibungsmittel nachfolgend vorgestellt.

### Formalisierung mit Petrinetzen

Petrinetze wurden 1962 von Carl Adam Petri eingeführt und stellen ein Beschreibungsmittel für dynamische Aspekte eines Systems dar. Petrinetze sind bipartite, gerichtete Graphen. Petrinetze werden nachfolgend mit ihren Notationselementen vorgestellt. Der Symbolvorrat von Petrinetzen ergänzt durch die Darstellung kausaler und dynamischer Bedeutungsbeziehungen die begrenzte Ausdrucksmächtigkeit der UML-Klassendiagramme und ist somit für die Fragestellung dieser Arbeit eine sinnvolle Ergänzung.

Petrinetze bestehen, wie in Abbildung 3-8 dargestellt, aus den folgenden Elementen [VDI08][DIN08b][ISO04][Sch99]:

- *Plätze* können als diskrete (einzelne) denkbare individuelle Zustände in einem System aufgefasst werden (*lokale Zustände*) [Sch99].
- *Transitionen* können als diskretes (einzelnes) denkbares, kurzfristiges Ereignis also als Zustandsübergang eines Systems aufgefasst werden [Sch99]. Sie sind als Aktivitäten (*Funktionen*) oder Regeln eines Systems interpretierbar.
- *Kanten* können als Kausalrelationen zwischen Plätzen und Transitionen interpretiert werden. Sie dienen der Darstellung der für ein System spezifischen Anordnung von Zuständen und Ereignissen. Gerichtete Kanten (Pfeile) zwischen Plätzen und Transitionen modellieren die logisch-dynamische Verknüpfung zwischen Zustandskombinationen als Bedingung für einen Zustandsübergang und den resultierenden Folgezuständen. Die Netztopologie beschreibt somit die kausale *Struktur* eines Systems und impliziert das Systemverhalten.
- *Marken* symbolisieren aktuell existente Zustände. Ist eine Bedingung zu einem Zeitpunkt erfüllt (lokaler Zustand), so ist der zugehörige Platz markiert. Die Menge der Marken aller zu einem Zeitpunkt erfüllten Bedingungen repräsentiert den *globalen Zustand* des diskreten Ereignissystems [Slo06]. Die Marken bewegen sich scheinbar in den Netzen,



werden erzeugt und verschwinden. Durch den Markenfluss wird die Dynamik, das Verhalten des modellierten Systems unter den in der Struktur festgelegten Restriktionen, abgebildet.

Die zuvor genannten Grundelemente von Petrinetzen können attribuiert werden, was die Mächtigkeit der Modellierung erweitert.

- *Temporale Attributierung der Netzelemente:* Zeitliche Vorgänge und Abhängigkeiten (Temporalität) können durch deterministisch oder stochastisch zeitbewertete Petrinetze geeignet beschrieben werden [GKZ95]. Die Zeitbewertung erfolgt durch die Zuordnung von Zeitattributen zu den verschiedenen Strukturelementen (Kanten, Transitionen und Plätze) eines Petrinetzes [Lem95].
- *Attributierung der Marken:* In höheren Petrinetzen ist es möglich, statt der zuvor anonymen Marken unterscheidbare und inviduelle Marken zu erzeugen. Eine Marke kann verschiedene Attribute aufweisen. Ein Platz kann beliebig viele solcher komplexen Marken enthalten, die von den angeschlossenen Transitionen auf individuelle Weise verarbeitet werden können [Jen92][Jen95].

Die Struktur des Petrinetzes und die vorgenommenen Attributierungen sind impliziter Ausdruck des Systemverhaltens. Ausgehend von einer definierten Anfangsmarkierung kommt man durch das Schalten einer Transition zur nächsten Folgemarkierung des Petrinetzes. Der Erreichbarkeitsgraph ist die Menge aller von einer Anfangsmarkierung eines Petrinetzes aus erreichbaren Markierungen und schaltbaren Transitionen. Er veranschaulicht somit explizit die vollständige Dynamik des Petrinetzes.

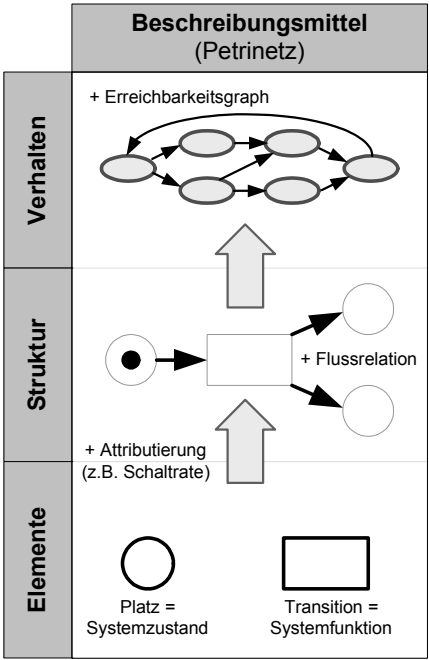


Abbildung 3-8: Petrinetze als Beschreibungsmittel für die Terminologieanalyse

Darüber hinaus bieten die Petrinetze folgende Vorteile:

- Darstellung *nebenläufiger Prozesse*: Wenn zwei Prozesse zwar zeitlich parallel ablaufen, aber keine kausale Kopplung zwischen ihnen besteht, mag es auf den ersten Blick nicht notwendig erscheinen, diese gemeinsam zu betrachten. Dass man beide Prozesse überhaupt parallel betrachten muss, liegt in der Tatsache begründet, dass sie an gewissen Stellen und das auch zeitgleich, in Konkurrenz um Ressourcen treten können. Dies ist für Fragestellungen der Allokation und Partitionierung (vgl. Abschnitt 5.3) von besonderem Interesse.
- Petrinetze verfügen über eine anschauliche grafische Darstellung, so dass sie als Grundlage einer Kommunikation über den modellierten Sachverhalt dienen können.
- Die mathematisch fundierte (algebraische) Semantik eröffnet viele Auswertungsmöglichkeiten durch Analyse und Simulation.
- Durch ihre Eigenschaft der Dekomponierbarkeit ist eine Zerlegung komplexer Petrinetze in überschaubare Module möglich. Kleinere Petrinetze können umgekehrt zu größeren Netzen zusammengefügt werden. Ziel der Dekomposition in Petrinetzen ist es, die Visualisierbarkeit großer Systeme zu erhalten und die Mittel zur Strukturierung und effektiven Abstraktion bereitzustellen. Durch diese Eigenschaften unterstützen Petrinetze eine effektive Wissensmodellierung.

Die formalisierte Prozessbeschreibung ergänzt die Notation der Petrinetze. In ihr können Nutzungsrelationen (eine Funktion greift zu ihrer Erfüllung auf eine gerätetechnische Ressource zu) dargestellt werden [VDI05a].

### 3.3.3 Integrationskonzept

Um den Modellierungsaufwand im Rahmen zu halten und um Anpassungen sowie Fehler in Folge unterschiedlicher Modellkonzepte, Methoden und verschiedener Beschreibungsmittel zu reduzieren, wird eine ökonomische Beschränkung von Termini, Modellkonzepten und Beschreibungsmitteln angestrebt. Bei hinreichender Konvergenz ist eine Integration möglich [Sch03]. Unter Integration wird hier allgemein die Zusammenfassung mehrerer, vor allem unterschiedlicher Dinge zu einem Einzigem verstanden. Diese Integration gelingt nur, wenn die Teile des entstehenden Gesamtsystems im Hinblick auf das Ganze integrationsfähig sind [Wil00]. Je nach Repräsentation des Integrationsobjekts spannt sich ein Spektrum unterschiedlicher Integrationsebenen auf.

- *Integrationen mentaler Repräsentationen*: In der Kognitionspsychologie wird die komplexe Verbindung von Sprache und Denken thematisiert. Im Rahmen der „Blending Theory“ wird ein Erklärungsansatz für die Integration verschiedener mental repräsentierter Konzeptbereiche diskutiert [LJ03][FT02].
- *Integration natürlichsprachlicher Repräsentationen*: Begriffe können auf sprachlicher Ebene durch Verknüpfung bekannter Teilbegriffe integriert werden. [DIN93b] nennt verschiedene Ausprägungen der Begriffsverknüpfung. Im Rahmen der integrierenden Begriffsverknüpfung können beispielsweise Gegenstände, die Begriffen zugeordnet werden, miteinander zum nächsthöheren Ganzen vereinigt werden.

- *Integration von Modellkonzepten:* Unterschiedliche, aber doch vergleichbare und deshalb mit kumulativem Effekt kombinierbare und verwertbare Modellkonzepte sind inzwischen zu einem wesentlichen integrativen Faktor der sich immer weiter in Teildisziplinen verzweigenden Wissenschaft geworden [Wil00]. Die Systemtheorie ist ein Beispiel eines solchen Modellkonzepts, welches sich durch eine interdisziplinäre Universalität auszeichnet.
- *Integration formalsprachlicher Repräsentationen:* Auf der Ebene formaler Beschreibungen können formalisierte Teilbegriffe mittels der Beschreibungsmittel selbst integriert werden. Dies ist beispielsweise genau dann möglich, wenn durch die Syntaktik des Beschreibungsmittels Termini in transitive Relationen zueinander gebracht werden können. Für hierarchische Bedeutungsrelationen (Abstraktions- und Bestandsrelation) kann dies mit Hilfe von UML-Klassendiagrammen, für kausale und temporale Bedeutungsrelationen durch Petrinetze modelliert werden. Mit einer syntaktischen Integration ist das semantische Integrationsproblem jedoch noch nicht gelöst. Gleiche Sachverhalte können mit unterschiedlichen Termini modelliert sein. Durch die Ausnutzung semantischer Strukturen können bessere Ergebnisse erzielt werden als mit rein syntaktischen Ansätzen. Diese für die Integration zusätzlich erforderliche Semantik kann auf der Basis formaler Auszeichnungssprachen (OWL, RDF-S) durch entsprechende Relationstypen erreicht werden.
- *Integration realer Objekte:* Die Differenzierung des außersprachlichen Gegenstandsbereichs in materielle und immaterielle Gegenstände bedingt, dass sich nur die Integrationsergebnisse der wahrnehmbaren Welt dem Beobachter direkt offenbaren. Im Rahmen der Entwicklung technischer Systeme werden beispielsweise einzelne am Markt verfügbare Systemkomponenten zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe, solche oftmals heterogenen Komponenten zu einem funktionierenden System zu konfigurieren.

Die Integration erfolgt in dieser Arbeit auf der Basis der formalsprachlichen Repräsentation, da hier bereits verifizierte Teilterminologiegebäude integriert werden können.

### 3.3.4 Verifikationsansatz

In Abschnitt 3.3.1 ist das Vorgehen der formalisierten Bedeutungsfestlegung vorgestellt worden. Die Instanziierung und die Integration wurden hierbei als wesentliche Aspekte diskutiert. Diese grundlegenden Konzepte können vor dem Hintergrund ihrer Bedeutung für den Verifikationsansatz der formalisierten Bedeutungsfestlegung reflektiert werden.

Der Verifikationsansatz hat zum Ziel, die in Abschnitt 3.1.3 postulierten Eigenschaften von Terminologiegebäuden wie Konsistenz, Eindeutigkeit, Exaktheit sowie Redundanzfreiheit, Vermeidung von Autohyponymien und zirkulären Definitionen und gegebenenfalls Vollständigkeit nachzuweisen und wenn möglich zu garantieren.

Ist dies einerseits hinsichtlich der sprachlich formulierten Bedeutungen im Sinne thematischer Korrektheit - auch unter Einschränkung auf eine enge Domäne - kaum möglich, so eröffnet andererseits die Formalisierung der Termini in Benennung, Art und Relation Verifikationsmöglichkeiten auf formaler Basis.

Insbesondere die Teilterminologiegebäude mit ihren Relationen, die eine logische Verweisstruktur repräsentieren, lassen beispielsweise eine formal fundierte Integration zu. Weiterhin erlauben die als geordnete Menge aufgefassten Strukturen der dargestellten Terminologiegebäude formale Analysen. So können beispielsweise einfach Homonyme und Synonyme identifiziert werden. Auch zirkuläre Definitionen [Glä07] und Autohyponymien sind analysierbar.

In [Hän08][Cru02a][Cru02b][SS08a] werden die verschiedenen Arten terminologischer Relationen bezüglich ihrer mathematischen Eigenschaften definiert. Hieraus lassen sich Ansätze für Verifikationsalgorithmen für Terminologiegebäude ableiten.

### **Verifikation auf der Ebene abstrakter Termini**

Schwierig ist der Nachweis richtiger Abstraktionen, welche sich beispielsweise durch Instanziierung aus Klassen zeigt. Aus der *Instanziierung* folgt, dass die Verifikation bereits frühzeitig auf der Ebene abstrakter (ggf. metasprachlicher) Termini geführt werden kann. Durch die Richtung vom Abstrakten zum Konkreten können die abstrakten Modelle aufgrund ihrer geringeren Komplexität mit relativ geringem Analyseaufwand verifiziert werden. Führt die Verifikation für den abstrakten Terminus zum Erfolg, gilt sie für die instanziierten Termini in gleichem Maße. Es muss hier jedoch die Bedingung der Korrektheit der Abstraktion, bzw. der Zulässigkeit der Instanziierung gelten. Aus der Sprachphilosophie heraus wurde ein Satz an Werkzeugen zusammen mit der Methode *OntoClean* geschaffen, mittels dessen Ontologien auf ihre Korrektheit bezüglich einiger grundsätzlicher Eigenschaften der Abstraktionsbeziehung hin überprüft werden können, die als *taxonomische Korrektheit* bezeichnet wird [Hän08]. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Konstruktion korrekter Taxonomien, denn diese stellen das Gerüst einer komplexen Ontologie dar. Für die folgende Integration ist das Vorhandensein korrekter Taxonomien eine notwendige Voraussetzung.

### **Integration verifizierter Teilmodelle**

Der *Integration* liegt die Vorstellung zu Grunde, dass die Verifikation komplexer (da konkreter) Modelle aufwändig, wenn nicht gar unmöglich ist. Es ist daher das Ziel, abstrakte, mit wenig Aufwand verifizierte, Termini miteinander zu integrieren. Konsistenzbedingungen, die innerhalb eines Modells geprüft werden können, heißen auch *Intramodellkonsistenz* [FHR08]. Für die Integrationsfähigkeit eines Modells sollten möglichst viele Konsistenzbedingungen innerhalb eines Teilmodells nachgewiesen werden. Die Integration verifizierter Teilbegriffssysteme würde unter der Voraussetzung, dass das Integrationskonzept selbst korrekt ist, zu einem verifizierten Gesamtbegriffssystem führen. Bei der Integration formalisierter Termini sind Konsistenzbedingungen über mehrere Teilmodelle hinweg zu klären. Sie werden als *Intermodellkonsistenz* bezeichnet.

Für eine Intermodellkonsistenz sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- *Zulässiges Abstraktionsniveau*: Insbesondere bei der Integration von in kausaler Relation zueinander stehender Termini ist zu berücksichtigen, dass Termini gleicher Abstraktionsebene miteinander verknüpft werden. Eine Vermischung von Abstraktionsgraden führt hier zu einer unerwünschten Variantenbildung der modellierten Terminologiegebäude. Eine unzulässige Verknüpfung von Termini unterschiedlichen Abstraktionsniveaus kann nur mit umfangreichem Domänenwissen und

Modellierungserfahrung erkannt werden.

- *Syntaktische Gültigkeit der Verbindung*: Die formale Fundierung von Petrinetzen ermöglicht eine korrekte syntaktische Verbindung eines editierten Terminus mit einem Folgeterminus. Aus der Bipartitheit von Petrinetzen folgt, dass diese syntaktisch gültig sind, wenn sie aus einer alternierenden Sequenz von Stellen und Transitionen bestehen. Sie sind demnach ungültig, wenn Verbindungen zwischen Stellen und Transitionen untereinander möglich sind. Syntaktisch ungültige Verbindungen können mit bestehenden Analysemethoden für Petrinetze aufgedeckt werden.

### **Integritätsbedingungen relationaler Datenbanken**

In der Informatik sind Daten konsistent, wenn Widerspruchsfreiheit innerhalb einer Datenbank gewährleistet ist. Die Konsistenz ist eine der vier in Datenbank-Transaktionen geforderten ACID-Eigenschaften (ACID ist ein Akronym für atomicity, consistency, isolation und durability). Transaktionen müssen demnach Datenbanken von einem konsistenten in einen anderen konsistenten Zustand überführen. Um die Konsistenz der Datenbank zu bewahren, werden Integritätsbedingungen festgelegt, die vom Datenbanksystem zu überwachen sind. Die Integritätsbedingungen bezeichnen hierbei Bedingungen, die an den Zustand einer Datenstruktur gestellt werden. Mit ihnen können Annahmen über die Abhängigkeiten von Daten beschrieben werden.

Relationale Datenbanken bieten als Werkzeuge die Möglichkeit, bei ihrer Definition Integritätsbedingungen zu formulieren, deren Einhaltung garantiert wird. Beim Einfügen, Löschen oder Ändern von Daten in einem Datenbankmanagementsystem werden die Daten nach Integritätsbedingungen geprüft. Eine Änderung, die eine Integritätsbedingung verletzt, kann entweder ganz unterbunden werden oder aber weitere Änderungen zur Herstellung der Integrität nach sich ziehen. Somit wird sichergestellt, dass fehlerfreie und nicht widersprüchliche Daten vorliegen. Das Datenbankschema (konzeptionelles Schema gemäß der dreistufigen ANSI/SPARC-Architektur) legt fest, welche Daten in einer relationalen Datenbank in welcher Form gespeichert werden können und welche Beziehungen zwischen den Daten bestehen. Hier erfolgt die Definition der Integritätsbedingungen zur Sicherstellung der Konsistenz. Diese Eigenschaft relationaler Datenbanken kann zur Verifikation der Relationen zwischen Benennungen genutzt werden:

- Der Fall einer mehrdeutigen Benennung (Homonymie, Polysemie), in dem ein sprachlich gleichlautender Ausdruck für mehrere Bedeutungen steht, wird durch die Integritätsregeln des Datenbankschemas offenbart. Eine eindeutige Disambiguierung wird durch die Angabe eines eindeutigen Domänen-identifikators erreicht und falls notwendig durch das Datenbankmanagementsystem erzwungen.
- Der Fall von Mehrfachbenennungen für einen Begriff als kognitive Einheit (Synonymie), in dem unterschiedliche sprachliche Ausdrücke denselben Begriff repräsentieren, kann im Datenbankschema durch Synonymrelationen dargestellt werden. Eine Integritätsregel stellt sicher, dass genau eine Benennung als bevorzugte Benennung innerhalb eines eindeutigen fachsprachlichen Kontexts (Domäne) verwendet wird.

## 4 Formalisierung des Terminus als metasprachliches Modell

In den Ausführungen zum methodischen Ansatz dieser Arbeit wird die zentrale Rolle des sprachlichen Zeichens deutlich. Nur auf der Grundlage einer eindeutigen und standardisierten Sprache kann die Basisterminologie der leittechnischen Modellwelt präzise gefasst werden. Dies erlaubt eine weitergehende Modellbildung [Epp08].

In diesem Kapitel wird die Konzeption des sprachlichen Zeichens [Kel95], welches den Gedankenwelten der Sprachphilosophie und Linguistik entstammt (vgl. Abschnitt 3.2.1), aufgegriffen und präzisiert. Es wird gezeigt, dass das bilaterale Zeichenmodell, welches sich von der strukturalistischen Linguistik herleitet und auch in der terminologischen Grundnormung zu finden ist, für die interdisziplinäre Fragestellung dieser Arbeit unzureichend ist. Aus der notwendigen Pragmatisierung des Zeichenmodells zur Abbildung verschiedener fachsprachlicher Kontexte im Dialog miteinander wird ein trilaterales, varietätsbezogenes Zeichenmodell entwickelt, welches ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeit ist.

Das sprachliche Zeichen wird in diesem Kapitel, dem zuvor dargestellten methodischen Ansatz folgend, als eigenständiges Modellkonzept etabliert. Zu diesem Zweck wird ein übergeordnetes Terminologiegebäude des Terminus (als solchem) durch die Formalisierung und Integration mehrerer untergeordneter Terminologiegebäude aus verschiedenen Grundnormen gebildet. Diese erstmalige Synthese und Integration der in drei separaten Normenausschüssen entstandenen Grundnormen mit Festlegungen einer abstrakten Basisterminologie gelingt auf der Grundlage des einheitlich verwendeten Beschreibungsmittels der UML-Klassendiagramme (vgl. Abschnitt 3.3.2). Die Vorgehensweise ist hierbei wie folgt:

- Als Kern des *metasprachlichen Modells des Terminus* werden die ihn konstituierenden Elemente mit den zwischen ihnen bestehenden semantischen Relationen identifiziert und formalisiert. Diese konstituierenden Elemente entstammen den *terminologischen Grundnormen* [DIN04a] [DIN93b] (vgl. Abschnitt 4.1).
- Aufbauend auf den grundlegenden Termini der terminologischen Grundnormen wird das *metasprachliche Modell des Terminus* um die in der *Qualitätsgrundnormung* festgelegten und für den Terminus als solchen relevanten Termini ergänzt ([DIN02a][DIN82a][DIN 85a][DIN85b], Abschnitt 4.3.1).
- Abschließend werden die für das *metasprachliche Modell des Terminus* relevanten terminologischen Festlegungen der *metrologischen Grundnormen* ergänzt, da sich nur hierdurch eine konsequente Rückführung abstrakter natürlichsprachlicher Ausdrücke auf die Ebene empirisch beobachtbarer und prognostizierbarer Größen und Werte ergibt (vgl. Abschnitt 4.3.1).

Aus der Integration der Teilterminologiegebäude der Grundnormen der Terminologie, Qualität und Metrologie entsteht ein kohärentes, abstraktes Modellkonzept, welches sich auf viele Bereiche (fach-)sprachlicher Terminologie-bildung, -organisation und -systematisierung übertragen lässt.

Der Terminus als metasprachliches Modell erfährt eine wesentliche Ergänzung durch die Berücksichtigung des Varietätsbezugs der fachsprachlichen Semantik. Dieser Aspekt wurde in der terminologischen Grundsatznormung bislang nicht berücksichtigt (vgl. Abschnitt 2.1.1).

## 4.1 Der Terminus und seine Konstituenten

*Zeichen* sind jedes Etwas, mit dessen Hilfe ein Zeichenbenutzer von einem Objekt Notiz nehmen kann, also generell alles von Verkehrszeichen bis hin zu sprachlichen Äußerungen. Die Auffassungen darüber, was ein Zeichen ausmacht, haben sich im Verlaufe des wissenschaftlichen Diskurses in der Semiotik grundlegend gewandelt [Kel95]. Zeichen werden hierbei in aller Regel als aus einem materiellen Zeichenträger (Signifikant) und einer zugehörigen Bedeutung (Signifikat), die untrennbar miteinander verbunden sind aufgefasst [Sau01].

*Lexeme* sind Elemente des Lexikons einer Sprache [Hom03]. Als sprachliche Zeichen sind sie eine Teilmenge des allgemeineren Zeichens. Die Einheit Lexem umfasst nicht nur fachsprachliche Zeichen, sondern auch gemeinsprachliche Zeichen. Die konzeptuelle Inhaltsseite (Signifikat) ergibt sich durch umgangs-sprachliche Gebrauchsregeln.

*Termini* sind eine Teilmenge des allgemeineren Lexems, indem es sich nur auf fachsprachliche Zeichen bezieht. In der terminologischen Grundnormung wird als Terminus das zusammenhängende Paar aus einem *Begriff* (im Sinne einer kognitiven Einheit) und seiner Bezeichnung (als deren materielle Repräsentation) aufgefasst [DIN04a]. Ein Terminus ist ein fachsprachliches Zeichen und integriert sich als solches in die Systematik der im betreffenden wissenschaftlichen Lehrgebiet geltenden Fachausdrücke [Löb02].

Wie die zuvor genannte Definition des Terminus zeigt, liegt der (inter-)nationalen Terminologiegrundnormung ein bilaterales Zeichenmodell explizit zu Grunde. Dies äußert sich darin, dass von einer Begriffsebene (Signifikat im Sinne Saussures) und einer Bezeichnungsebene (Signifikant im Sinne Saussures) die Rede ist. Allerdings reicht dieser Ansatz für die Betrachtungen zur (inter-)fachsprachlichen Kommunikation nicht aus, da Saussure den Kontext sprachlicher Äußerungen nicht untersucht. Oftmals entstehen Probleme in der (fachsprachlichen) Kommunikation gerade auf Grund der unterschiedlichen Kontexte.

Auch wenn diese zeichentheoretische Position allen späteren strukturalistischen Untersuchungen implizit zu Grunde liegt, emanzipiert sich der auf Saussure folgende Diskurs in der Linguistik von diesem bilateralen Zeichenmodell. Die Sprachwissenschaft bleibt nicht bei der Beschreibung eines Sprachsystems und der Suche nach rein sprachsystemimmanenten Erklärungen für sprachliche Probleme stehen, sondern bezieht ergänzend soziale, funktionale oder kognitive Aspekte mit ein [Kor99]. Vor dem Hintergrund der funktionalen Differenzierung der Sprache in Fachsprachen [Löf05] ist eine Pragmatisierung des bilateralen Saussureschen Zeichenmodells erforderlich. In dieser Arbeit wird das bilaterale Zeichenmodell der terminologischen Grundnormung zu einem trilateralen, varietätsbezogenen Zeichenmodell erweitert. Nach der ersten Übersicht werden die Konstituenten des metasprachlichen Modells des Terminus (vgl. Abbildung 4-1) im weiteren Verlauf dieses Kapitels detaillierter erläutert.

Das metasprachliche Modell des Terminus umfasst die folgenden Konstituenten:

- Eine *Bezeichnung* (Signifikant) als materieller Träger der Zeichenbedeutung. Diese Repräsentation kann mit sprachlichen (Benennung) oder anderen Mitteln (Symbol, Formel) erfolgen. Aus Sicht der Lexikographie und Lexikologie wird der Signifikant [Sau01] oder die Benennung [DIN04a] auch als *Lemma* bezeichnet [Lut07][Wol89]. Ein Lemma ist somit die Zitierform oder auch die Grundform eines Lexems, so wie wir sie in Lexika oder Wörterbüchern finden können.
- Den eigentlichen *Begriff* (Signifikat): Begriffe werden nach [DIN04a] definiert als „Denkeinheit, die aus einer Menge von Gegenständen unter Ermittlung der diesen Gegenständen gemeinsamen Eigenschaften mittels Abstraktion gebildet wird.“ Begriffe dienen dem Erkennen von Gegenständen, der Verständigung über Gegenstände sowie dem gedanklichen Ordnen von Gegenständen [APM04]. Dabei ist *Gegenstand* in einem weiteren Sinne gemeint, der nicht nur materielle, sondern auch abstrakte Objekte umfasst.
- Eine *Varietät*, welche einen Rückschluss auf den fach- oder gemeinsprachlichen Verwendungskontext eines sprachlichen Zeichens erlaubt.

Der eigentliche *Begriff* (Signifikat) lässt sich gemäß [Sch02a] und [DIN04a] weiterhin differenzieren in die folgenden Konstituenten:

- Die *Extension* (Umfang) ist die Menge aller Gegenstände, die unter einem Begriff subsummiert werden. So ergibt sich beispielsweise die Extension des Ausdrucks *Ozean* indem alle Elemente, die er umfasst aufgezählt werden (unter anderem Atlantik und Pazifik) [Hom03].
- Die *Intension* (Inhalt) ist die Menge aller Eigenschaften eines Begriffs und die hierfür charakteristischen Merkmale mit ihren Größen (in Zahlen ausdrückbare Eigenschaft von Gegenständen) und Werten. In Bezug auf das zuvor genannte Beispiel *Ozean* ergibt sich die Intension durch die distinktiven Merkmale über die dieses Lexem von benachbarten Lexemen (beispielsweise *Meer* und *See*) abgegrenzt und so definiert wird als "Teil des Weltmeeres zwischen Kontinenten mit eigenem Gezeitenlauf und selbständigen Strömungsverhältnissen" [Hom03]. Die Gesamtheit der wesentlichen Eigenschaften eines Gegenstands ist seine Beschaffenheit, die zeitlich veränderlich sein kann. Die zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegende Beschaffenheit ist der Zustand des betrachteten Objekts [Sch02a].
- *Beziehungen* (semantische Relationen) zu anderen Begriffen, welche aufgrund von Merkmalen bestehen oder hergestellt werden. Die Relationen sind zentral, da jedes Lexem seine Bedeutung über seine Stellung im Sprachsystem durch eine differenzlogische Bestimmung der Bedeutung erhält.
- Die *Definition* basiert auf verschiedenen Verfahren zur Bedeutungsbeschreibung und -festlegung und greift hierfür auf sprachliche Mittel zurück. Die Formulierung der Definition setzt eine Kenntnis der Extension, der Intension, der semantischen Relationen und des Bedeutungskontexts des Terminus voraus.

Diese Konstituenten eines Terminus sind selbst wiederum sprachliche Zeichen. Eine formalisierte Darstellung dieses komplexen Sachverhalts zeigt Abbildung 4-1 in Form eines Klassendiagramms. In dieser Sicht wird jetzt der Terminus als eigenständiges



metasprachliches Modell etabliert. Es wird ebenfalls die Rekursivität dieses metasprachlichen Modells deutlich, da seine Konstituenten selbst wieder als sprachliche Zeichen aufgefasst werden müssen.

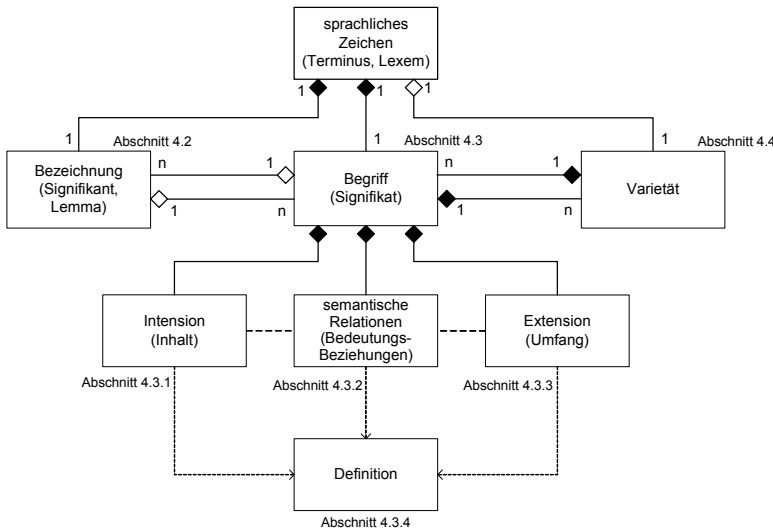


Abbildung 4-1: Metasprachliches Modell des Terminus

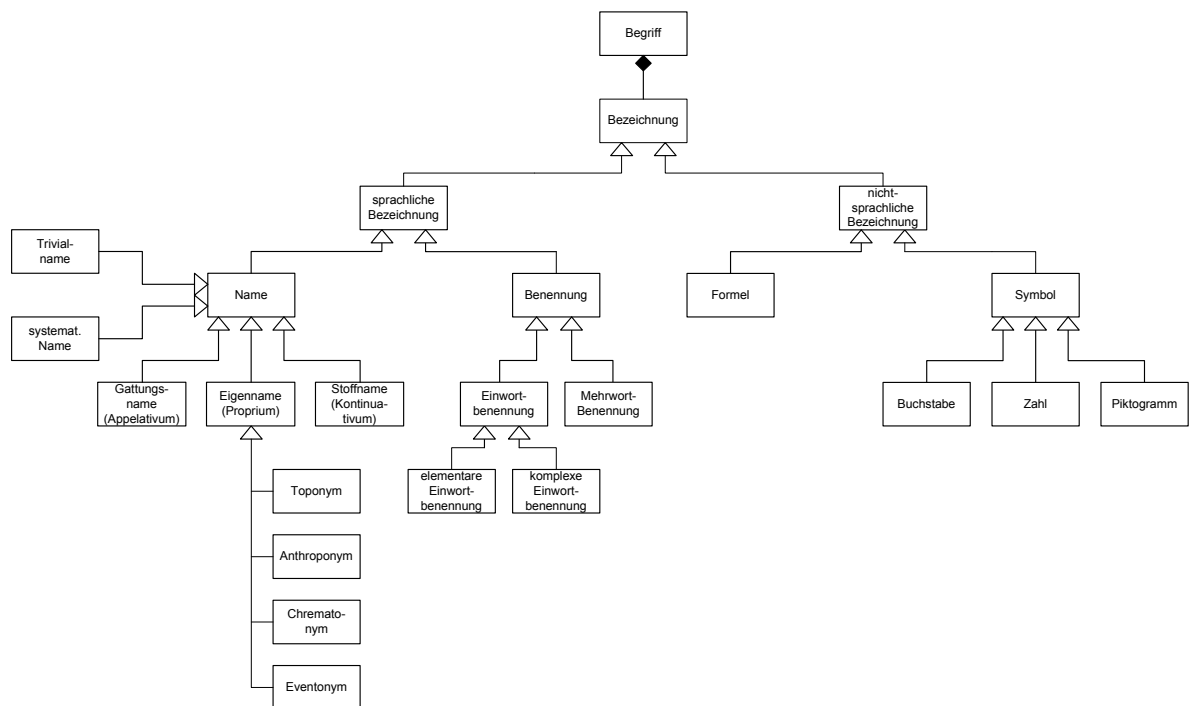
## 4.2 Bezeichnung (Signifikant)

Die Bezeichnung ist die Repräsentation eines Begriffs mit sprachlichen oder anderen Mitteln. Abbildung 4-2 verdeutlicht die verschiedenen Repräsentationsformen von Begriffsbezeichnungen.

*Namen* sind sprachliche Bezeichnungen eines Individualbegriffs. Sie bezeichnen Begriffe, die ausgehend von einem einzelnen Gegenstand durch Abstraktion gebildet wurden. Namen können in Eigennamen (Benennungen von Individualbegriffen), Gattungsnamen (Benennungen von Kollektivbegriffen) und Stoffnamen unterschieden werden. Die Eigennamen können in Toponyme (Namen für Orte), Anthroponyme (Namen von Menschen), Chrematonyme (Namen für Objekte) und Eventonyme (Namen von Ereignissen) unterteilt werden.

Eine *Benennung* stellt die Bezeichnung eines Begriffs mit rein sprachlichen Mitteln dar. Benennungen bezeichnen Allgemeinbegriffe. Diese werden ausgehend von mehr als einem Gegenstand durch Abstraktion gebildet. Benennungen sollen unter Verwendung des Wortschatzes (im Sinne des Gesamtbestands der Wörter einer Sprache) gebildet werden (Entlehnung). Sie können durch die geeignete Kombination von Wörtern, durch die Übernahme einer Benennung aus einer anderen Sprache oder durch die Übernahme einer Benennung aus einem anderen Fachgebiet (Transterminologisierung) gebildet werden. [DIN93b] enthält allgemeine Grundsätze, die für eine geregelte Benennungsbildung innerhalb von Fachsprachen berücksichtigt werden sollen. Vor der Zuordnung einer neu zu bildenden Benennung zu einem Begriff ist zu prüfen, ob bereits eine Benennung für diesen Begriff existiert und ob die vorhandene Benennung den Kriterien der Genauigkeit, der Nutzung möglichst knapper sprachlicher Mittel, sowie der Orientierung am anerkannten

Sprachgebrauch genügt. Darüber hinaus werden diese Grundsätze durch VDI-Richtlinien für Wortbildungen und -verwendungen konkretisiert (vgl. [VDI63], [VDI64], [VDI65], [VDI66], [VDI67a], [VDI67b], [VDI69], [VDI74], [VDI76], [VDI77]).



**Abbildung 4-2: Die Bezeichnung als Konstituente des Terminus**

*Symbole* und *Formeln* sind nicht-sprachliche Bezeichnungen. Sie repräsentieren ähnlich wie Benennungen einen Begriff, sind aber in der Regel sprachinvariant. Beispiele hierfür sind die aus der Mathematik, Physik und Chemie bekannten Darstellungen.

Ist die Zuordnung einer Bezeichnung zum Begriff erfolgt, fügt sich das Fachwort in die Terminologie eines Fachgebietes ein. Eine *Nomenklatur* ist ein nach vorab festgelegten Bildungsregeln für Benennungen erarbeitetes System von Termini eines Fachgebiets [DIN04a]. In der Alltagssprache existieren oftmals bereits Benennungen für zu einem Fachgebiet gehörige Gegenstände, so genannte *Trivialnamen*. Diese stellen jedoch nicht die systematischen Zusammenhänge eines Fachgebiets dar. Um sinnvolle und allgemein anerkannte Regeln zur Bildung von Benennungen innerhalb eines Fachgebiets zu erstellen, ist eine Kenntnis der systematischen Zusammenhänge dieses Fachgebiets unerlässlich. Eine Nomenklatur basiert somit auf einem streng strukturierten Terminologiegebäude [FR95b]. Werden an einem Gegenstand bestimmte Attribute beobachtet, kann durch Befolgen der Benennungsregeln der Nomenklatur eine neue Benennung geschaffen werden, welche die Eindeutigkeit wissenschaftlicher Namen im Sinne einer Homonymfreiheit gewährleistet. Der auf diese Weise festgelegte Terminus ordnet sich durch Befolgen der grundlegenden Regeln automatisch in das vorhandene Terminologiegebäude ein. Beispiele für solche stringenten Nomenklaturen sind

- das System wissenschaftlicher Namen in der Biologie (Botanik und Zoologie),
- die anatomische Nomenklatur (Terminologia Anatomica) zur systematischen Benennung der Körperteile des Menschen,

- die systematische Benennung für Mineralien der International Mineralogical Association (IMA) sowie
- die systematischen Namen für die Gegenstandsbereiche der Organischen, Anorganischen und Physikalischen Chemie der International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [FR95a].

## 4.3 Begriff (Signifikat)

Die konzeptuelle Inhaltsseite eines sprachlichen Zeichens konstituiert sich durch die semantischen Relationen, welche Intension und Extension bestimmen. Sind Intension und Extension klar festgelegt, so kann der Begriff als kognitive Einheit durch eine Definition sprachlich beschrieben werden. Die einzelnen Konstituenten des Begriffs (Signifikats) werden nachfolgend erläutert.

### 4.3.1 Intension

Unter der Intension eines Begriffs versteht man, wie in Abschnitt 3.4.1 definiert, die Gesamtheit seiner Merkmale. In diesem Abschnitt wird dieser Terminus aus der terminologischen Grundnormung präzisiert und um Aspekte der deskriptiven Statistik und der Metrologie ergänzt. Es ergibt sich somit eine Attributhierarchie von Eigenschaften, Merkmalen, Größen und Werten, welche die bereits von Carnap intendierte physikalische Begriffsbildung [Car66] instanziiert. Die einzelnen Elemente dieser Attributhierarchie werden nachfolgend dargestellt.

#### Eigenschaften

Eigenschaften beziehen sich auf eine potenziell wahrnehmbare Zustandsform der Wirklichkeit. Sie sind, falls überhaupt, nicht unmittelbar messbar (beispielsweise „Schönheit“). Eigenschaften sind geeignet, Beobachtetes aufeinander zu beziehen, ohne dass sie jedoch unmittelbar beobachtet oder gemessen werden können. Eigenschaften können mit Benennungen versprachlicht werden und stellen somit wieder Termini im Sinne der zuvor dargestellten Rekursivität des metasprachlichen Modells dar.

Für eine fachsprachliche Bedeutungsfestlegung sind die Eigenschaften zu operationalisieren und somit auf empirisch beobachtbare Merkmale zurückzuführen. Den Eigenschaften von Gegenständen werden somit im Erkenntnisakt Merkmalsbegriffe zugeordnet [FB89]. Eigenschaften entstehen durch eine Abstraktion von den Merkmalen, beziehungsweise sie fassen eine Menge untergeordneter Merkmale zusammen.

#### Merkmale

Merkmale sind Grundelemente für das Erkennen und Beschreiben von Gegenständen und das Ordnen von Begriffen. Sie sind objektiv bestimmbar und somit in objektiver Weise präzisierte Eigenschaften [DIN98]. Ein Objekt kann Merkmalswerte unterschiedlicher Merkmale aufweisen, aber von jedem Merkmal kommt ihm nur ein Merkmalswert zu. Diese Merkmalswerte müssen für den jeweiligen Zweck hinreichend präzise festgelegt sein. Es muss somit ein prinzipielles Verfahren (beispielsweise Zählen oder Messen) geben, um die Merkmalswerte für einen gegebenen Merkmalsträger zu ermitteln. Dies ist in der Regel die Vorgabe einer Systematik von Merkmalswerten (Skalenniveau, siehe unten), aus der

hervorgeht, wie sich der Merkmalswert einordnet [DIN98]. Merkmale sind demnach einer *Messung* (kontinuierliche Merkmale) oder *Zählung* (diskrete Merkmale) zugänglich. Merkmale sind selbst wiederum Termini [FB89]. Merkmale dienen

- zum *Beschreiben* (insbesondere Definieren, vgl. Abschnitt 4.3.4),
- zum *Abgrenzen* von Begriffen in derselben Begriffsreihe (einschränkende Merkmale),
- zum *Ordnen* von Termini in Terminologiegebäuden (vgl. Abschnitt 4.6) [FB89] sowie
- als Grundlage für die *Benennungsbildung* (motivierte Benennung).

In den Terminologiegrundnormen werden unter anderem die Merkmale wie folgt differenziert.

- *Beschaffenheitsmerkmale* geben Eigenschaften der von einem Terminus erfassten Gegenstände an [DIN93b]. Beschaffenheitsmerkmale sind dadurch gekennzeichnet, dass sie am jeweiligen Einzelstück eines technischen Erzeugnisses direkt messbar sind, ohne Kenntnis von dessen Anwendung und Herkunft zu haben. Bei materiellen Gegenständen sind Form, Größe, Stoff, Härte und Farbe Beispiele hierfür [VDI85].
- *Verhaltensmerkmale* gewinnen im Zusammenhang mit stochastischen Prozessen zunehmend an Bedeutung. Wichtigstes derartiges Verhaltensmerkmal ist die Funktionszuverlässigkeit sowie ihre Berücksichtigung hinsichtlich Verfügbarkeit und Sicherheit [VDI85].

Merkmale lassen sich in qualitative und quantitative Merkmale unterscheiden. Qualitativen Merkmalen werden Merkmalswerte einer jeweils geeigneten Skala zugeordnet [DIN 85a]. Quantitative Merkmale werden durch Größenwerte und eine entsprechende metrische Skala beschrieben.

### Skalenniveau

Das Skalenniveau konkretisiert die Merkmale. Eine Skala beschreibt einen zweckmäßig geordneten Wertebereich als Menge aller Merkmals- oder Größenwerte, die ein bestimmtes Merkmal annehmen kann [DIN89]. Der Terminus *Messung* ist definiert als die Zuordnung von Zahlen oder Symbolen gemäß bestimmter Vorschriften. Diese Zuordnung konstituiert, je nachdem welche Vorschrift gegeben wird oder eingehalten werden kann, Skalen auf verschiedenen Niveaus. Diese stellen ihrerseits Abbildungen der Merkmalsvarianten auf die reellen Zahlen dar.

Die verschiedenen Skalenniveaus bestimmen [Ort74]

- welche *Interpretationen* die Ausprägungen eines Merkmals zulassen (Gleichheit, Beziehungen, Abstände, Verhältnisse) [Car59],
- welche *Transformationen* (eindeutige, monotone und lineare Transformationen) mit einer Variablen ohne Informationsverlust durchgeführt werden können [FKP+00],
- welche mathematischen *Operationen* mit einer Variablen zulässig sind (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division) und
- welche *statistischen Verfahren* (Bestimmung von Mittelwerten und Variabilitätsmaßen) für das jeweilige Skalenniveau zulässig sind. Bestimmte statistische Kennwerte

(Standardabweichung, Varianz) erfordern Daten mindestens auf Intervallskalenniveau. Dagegen gibt es weitere statistische Verfahren, die für die Analyse von Daten auf Nominal- oder Ordinalskalenniveau zulässig sind (Medien, Modus, Quantile).

Abbildung 4-3 zeigt die verschiedenen Skalenniveaus in formalisierter Darstellung. Die Attribute der Klassen im UML-Klassendiagramm verdeutlichen, dass der Informationsgehalt von Skalen durch den zunehmenden Formalisierungsgrad der Abbildungsvorschrift von der Nominal- zur Verhältnisskala stetig zunimmt (vgl. Abschnitt 3.3.2).

### Qualitative Merkmale

*Qualitative Merkmale* sind Merkmale, deren mögliche Werte einer Skala zugeordnet sind, auf der keine Abstände definiert sind. Solche Skalen werden als *topologische Skalen* zusammengefasst [DIN89]. Qualitative Merkmale lassen sich in Nominal- und Ordinalmerkmale unterteilen:

Als *Nominalmerkmale* werden Merkmalskategorien mit beliebiger Anordnung bezeichnet. Sie beschreiben Eigenschaften, die nicht quantifizierbar sind. Ein Nominalmerkmal hat einen Merkmalswert, der in Worten, durch alphanumerische Codes oder durch andere Mittel ausgedrückt werden kann. Es können mögliche Ausprägungen zwar unterschieden, jedoch nicht immer in eine Rangfolge gebracht werden [DIN85b]. Nominale Merkmale können wie folgt weiter differenziert werden:

- Von einem *dichotomen Merkmal* eines Untersuchungsobjekts spricht man dann, wenn das Merkmal in nur zwei Ausprägungen (beispielsweise *fehlerfrei* oder *fehlerhaft*) vorkommen kann.

- Bei drei möglichen Ausprägungen spricht man von einem *trichotomen Merkmal* (zum Beispiel die Aggregatzustände fest, gasförmig und flüssig).
- *Polytome Merkmale* weisen im Gegensatz zu dichotomen Merkmalen mehr als zwei Ausprägungen auf (beispielsweise die Farben grün, blau, gelb und rot).

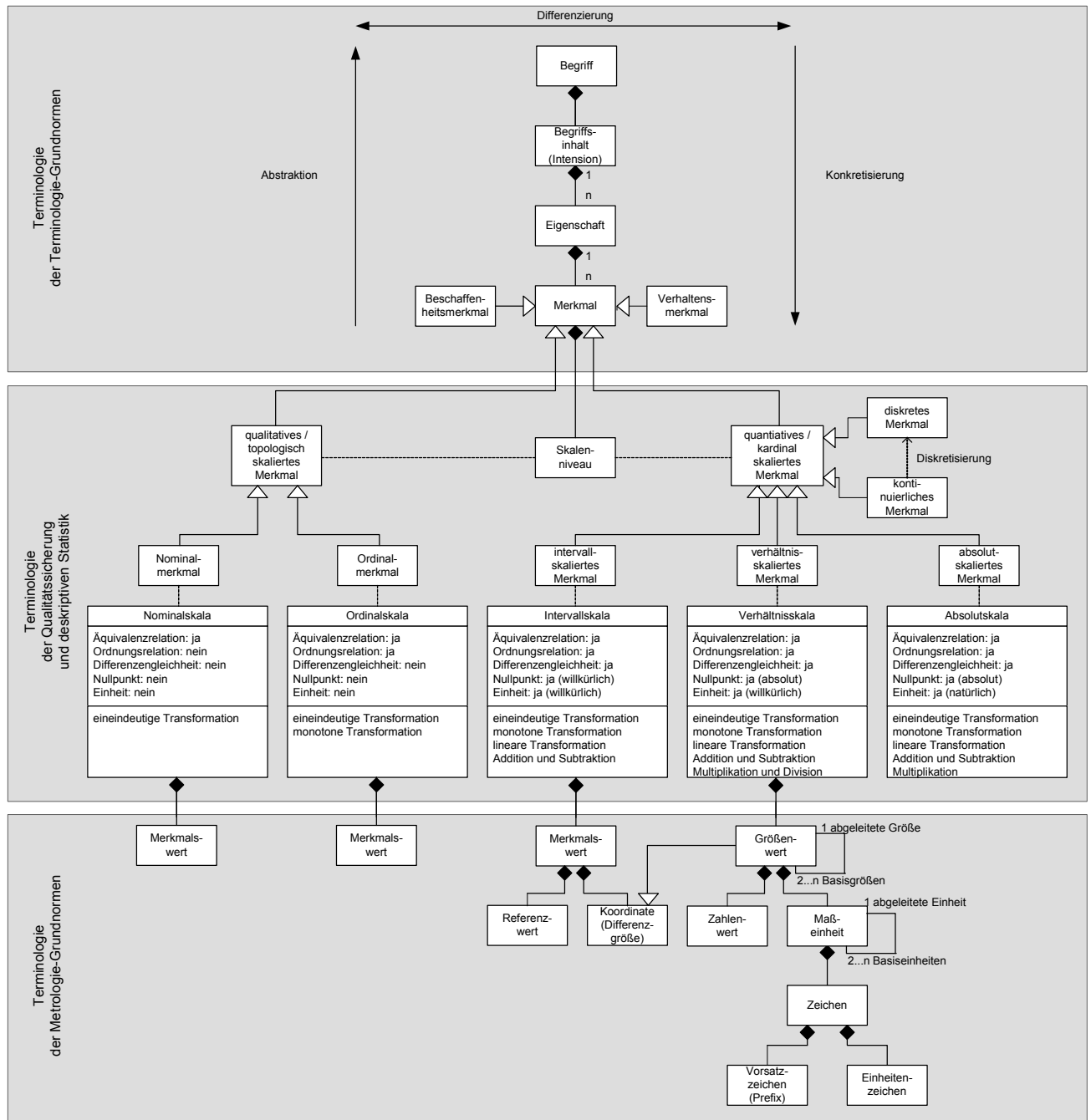


Abbildung 4-3: Attributhierarchie der Intension

*Ordinale Merkmale* folgen einer Rangordnung (beispielsweise glatt, etwas verknittert, stark verknittert) [DIN82a]. Die Verwendung von Zahlen als Merkmalswerte besagt nicht, dass die Differenzen bedeutungsvoll sind. Aufgrund dieser Ordnungsrelation spricht man hier auch von einem *graduieren* oder *abgestuften Merkmal*.

### Quantitative Merkmale

*Quantitative Merkmale* sind Merkmale, deren Werte einer Skala zugeordnet sind, auf der Abstände definiert sind. Skalen dieser Art heißen „metrische Skala“ oder „Kardinalskala“. Auf ihr sind entweder Abstände festgelegt (Intervallskala) oder zusätzlich auch Verhältnisse

(Verhältnisskala) [DIN89]. Quantitative Merkmale lassen sich nach ihrem Wertebereich in diskrete und kontinuierliche Merkmale [DIN02a] unterscheiden:

- *Diskrete Merkmale* sind zählbare Merkmale, in denen die Ausprägungen in der Regel gleichabständige ganze Zahlen (Zählwerte) darstellen [DIN 85a].
- *Kontinuierliche Merkmale* sind messbare Merkmale, bei denen die Ausprägungen beliebige reelle Zahlen aus einem endlichen oder unendlichen Intervall (als Zahlenwerte physikalischer Größen) darstellen.

Durch den Vorgang der Diskretisierung ist ein Übergang zwischen kontinuierlichen und diskreten Merkmalen möglich.

### **Merkmalswerte intervallskalierte Merkmale**

Ein Merkmalswert eines intervallskalierten Merkmals setzt sich aus einem *Referenzwert* und einem *Größenwert der Differenzgröße* zusammen. Der *Größenwert der Differenzgröße*, auch als *Koordinate* bezeichnet, ist vom Referenzwert abzutragen, um den Merkmalswert zu erhalten. Der frei wählbare Referenzwert ist bei einer solchen Angabe erforderlich, da ein Größenwert der Differenzgröße (Koordinate) allein keinen Merkmalswert des intervallskalierten Merkmals kennzeichnet und das intervallskalierte Merkmal keinen Hinweis auf einen Referenzwert beinhaltet. Ein Beispiel eines intervallskalierten Merkmals ist die Höhenlage eines Punktes im Gelände, die in Metern (Größenwert der Differenzgröße) über Normalnull (Referenz) angegeben wird.

### **Merkmalswerte verhältnisskalierte Merkmale (Größen)**

Der Terminus *Größe* ist ein Spezialfall der allgemeineren Merkmale. In der Physik beziehen sich Größen auf eine Klasse von Klassen physikalischer Phänomene – oder auf eine Klasse physikalischer Eigenschaften, die eine Skala numerischer Messwerte ausmachen und die man konkreten Phänomenen zusprechen kann, die sich unter wohl definierten experimentellen Bedingungen erzeugen lassen. Physikalische Phänomene werden durch physikalische Größen beschrieben. Die Festlegung einer physikalischen Größe beinhaltet neben der topologischen Definition (Äquivalenz- und Ordnungsrelation) auch die metrische Definition (Festlegungen zu Skalenform, Nullpunkt und Einheit) [Car59]. Nach deutschem Verständnis beschränkt sich somit der Terminus *Größe* auf verhältnisskalierte Merkmale, so dass es keine Ordinalgrößen, sondern nur Ordinalmerkmale gibt. Eine so definierte Größe ist Bestandteil eines Größensystems als eine Menge von Größen und einer Menge widerspruchsfreier Gleichungen, die diese Größen zueinander in Beziehung setzen. Durch diese Einbettung einer einzelnen Größe in ein Größensystem ergibt sich die Differenzierung des Terminus *Größe* in *Basisgrößen* und *abgeleiteten Größen* [ISO07b]. Dies ist im UML-Klassendiagramm (vgl. Abbildung 4-3) als reflexive Assoziation dargestellt. Als *Basisgrößen* werden solche Größen bezeichnet, die nicht durch andere Größen eines Größensystems ausgedrückt werden können. Es existieren sieben voneinander unabhängige Basisgrößen (Länge, Masse, Zeit, elektrische Stromstärke, thermodynamische Temperatur, Stoffmenge und Lichtstärke) [VA98]. Eine *abgeleitete Größe* ist eine Größe in einem Größensystem, die als Funktion der Basisgrößen dieses Systems definiert ist. Ein Beispiel hierfür ist die Festlegung der Dichte als Quotient der Masse und des Volumens (welches seinerseits ebenfalls aus der Basisgröße der Länge abgeleitet ist) [ISO07b].

Jeder spezielle Wert einer Größe (Größenwert) kann als Produkt aus Zahlenwert und Maßeinheit dargestellt werden. Die Maßeinheit ist hierbei ein durch internationale Übereinkunft definierter reeller skalarer Wert, mit dem jeder andere Wert der Größe verglichen und als Verhältnis der beiden Größenwerte als Zahlenwert ausgedrückt werden kann. Analog zur Größe kann auch bei den Einheiten in *Basiseinheiten* (Meter als Basiseinheit der Größe *Länge*) und *abgeleitete Einheiten* (Meter durch Sekunde als abgeleitete Einheit der abgeleiteten Größe *Geschwindigkeit*) unterschieden werden [ISO07b].

### Statistische Überlegungen zu Merkmalen

Für die Betrachtungen zur technischen Zuverlässigkeit sind aufgrund des oftmals unvorhersehbaren Versagens wahrscheinlichkeitstheoretische und statistische Überlegungen durchzuführen. Bei einer solchen probabilistischen Betrachtung wird jeder mögliche Merkmalswert als ein *Ereignis* aufgefasst. In der Wahrscheinlichkeitstheorie gibt die Wahrscheinlichkeitsverteilung an, wie sich mögliche Ereignisse (Werte einer Zufallsvariable) auf einzelne Wahrscheinlichkeitsklassen verteilen. Somit wird jedem Ereignis eine reelle Zahl  $P(A)$  zugeordnet. Zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden Dichtefunktionen oder Wahrscheinlichkeitsfunktionen verwendet, zwischen denen es grundlegende mathematische Zusammenhänge gibt, die in Abbildung 4-4 als Klassendiagramm gezeigt werden.

- Die *Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion* einer stetigen Zufallsvariable ist die Ableitung der Verteilungsfunktion [MP03].
- Die *Verteilungsfunktion* einer stetigen Zufallsvariable ist das unbestimmte Integral der Dichtefunktion [FKP+00]. Sie ist die Funktion, welche für jeden Wert die Wahrscheinlichkeit angibt, dass die Zufallsgröße kleiner oder gleich diesem Wert ist [DIN82c].

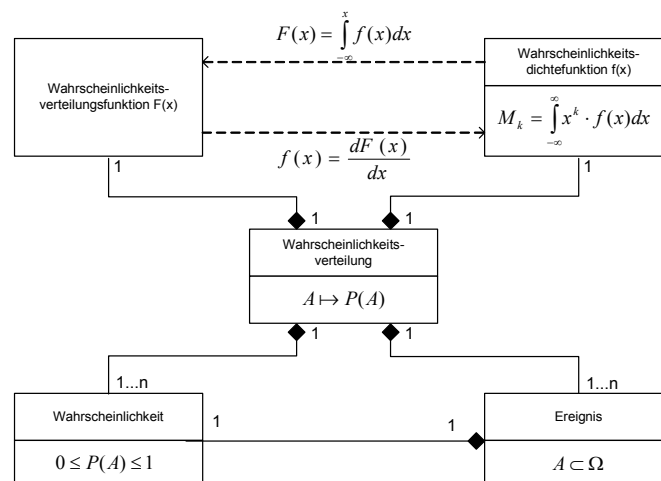


Abbildung 4-4: Probabilistische Merkmalswerte

Die Eigenschaften einer Verteilungsfunktion (Mittelwert, Varianz, Grad der Schiefe, Wölbung) können durch ihre Momente angegeben werden [DIN82b][DIN82c]. Diese sind abhängig von der gewählten Wahrscheinlichkeitsverteilung (beispielsweise Normalverteilung, Exponentialverteilung) und dem jeweiligen Skalenniveau.



### 4.3.2 Relationen in Terminologiegebäuden

In Terminologiegebäuden liegen unterschiedliche Arten von Relationen vor. Dies sind:

- Relationen zwischen Begriffen (inter-concept relations),
- Relationen zwischen Begriffen und Benennungen (concept-term relations) und
- Relationen zwischen Benennungen (inter-term relations).

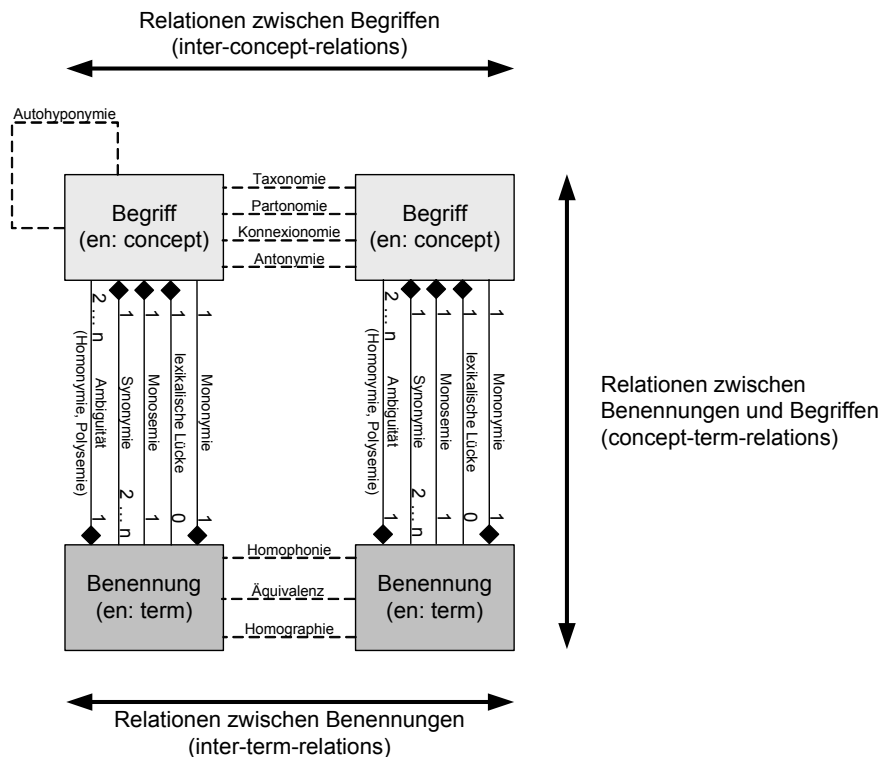


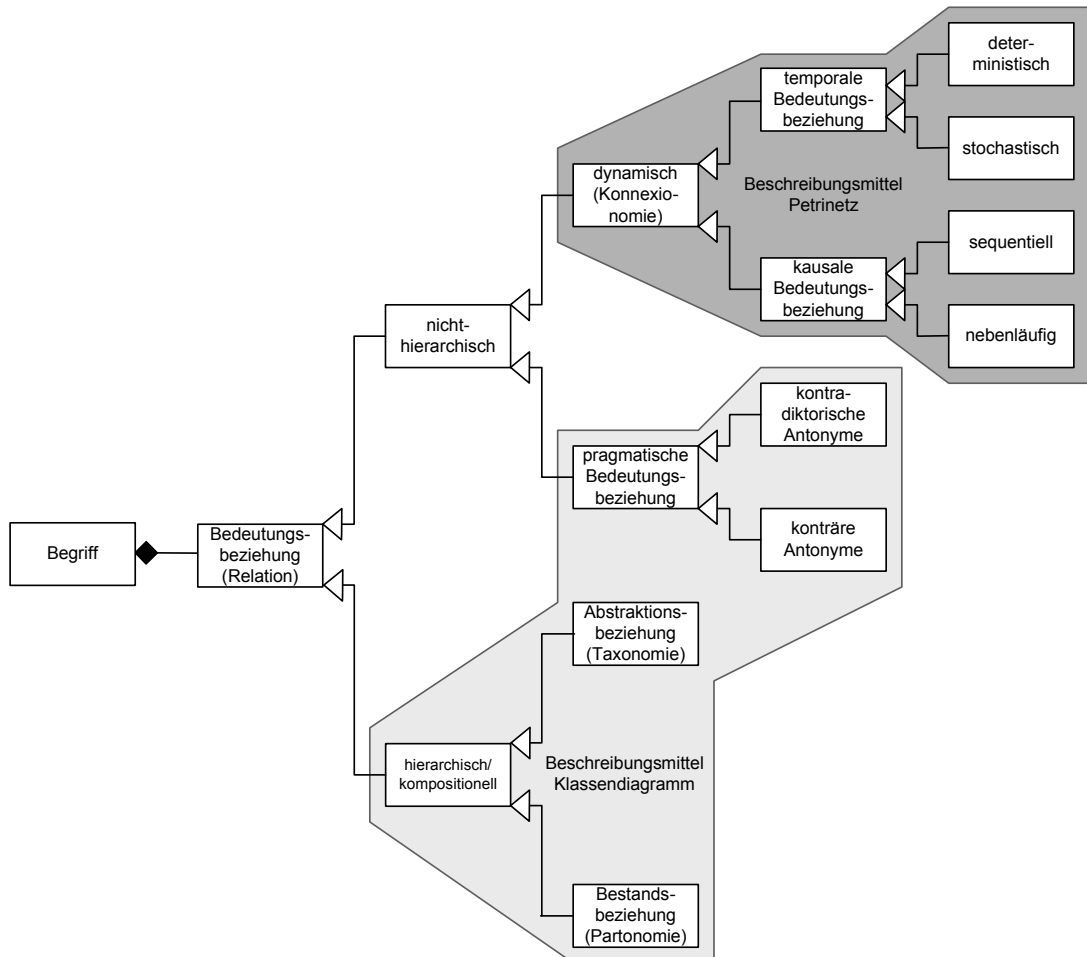
Abbildung 4-5: Relationen in Terminologiegebäuden (Semantik)

Abbildung 4-5 stellt die Relationen innerhalb eines Terminologiegebäudes dar:

#### Relationen zwischen Begriffen (inter-concept relations)

Die Fähigkeit, Gegenstände unterscheiden zu können, setzt die Kenntnisse ihrer Eigenschaften und Merkmale voraus [Sch02a]. Über distinktive (unterscheidende) Merkmale kann eine Menge von Elementen von einer anderen Menge abgegrenzt werden. Auf diese Weise können unterschiedliche *Relationen zwischen Begriffen* unterschieden werden.

Zwischen über- und untergeordneten Begriffen bestehen hierarchische Bedeutungsbeziehungen. Eine Begriffsordnung ist *monohierarchisch*, wenn es zu jedem Begriff genau einen Oberbegriff gibt. Sie ist *polyhierarchisch*, wenn einige Begriffe über mehrere Oberbegriffe verfügen [SS08a]. Man unterscheidet zwei Hauptformen hierarchischer Bedeutungsbeziehungen.



**Abbildung 4-6: Relationen zwischen Termini**

- **Abstraktionsbeziehung** (Hyperonymie ↔ Hyponymie), bei welcher die Intension des übergeordneten Begriffs die Intension des untergeordneten Begriffs einschließt. Der untergeordnete Begriff unterscheidet sich in mindestens einem zusätzlichen Merkmal vom übergeordneten Begriff [Lut07][Bro02a]. Ein Beispiel hierfür ist das Lexem *Sitzmöbel* den Lexemen *Stuhl*, *Sessel* und *Sofa* übergeordnet ist. Sitzmöbel ist Hyperonym zu Stuhl. Einen Spezialfall stellen hierbei *Autohyponyme* dar. Autohyponyme sind Lexeme, die zu sich selbst hyponym sind. Autohyponyme sind doppeldeutig, da sie eine allgemeinere und eine spezifischere Bedeutung aufweisen. Anhand des Beispiels des Lexems *Katze* wird deutlich, dass im Falle von Autohyponymien eine Doppeldeutigkeit (Homonymie) vorliegt. In ihrer *allgemeinen Bedeutung* stellt die Bezeichnung *Katze* eine Gattungsbezeichnung innerhalb der Taxonomie der Lebewesen in der Biologie dar. In ihrer *spezifischen Bedeutung* bezeichnet *Katze* ein weibliches Exemplar der Familie der Katzen (im Gegensatz zu dem als *Kater* bezeichneten männlichen Exemplar).
- **Bestandsbeziehungen** (Meronymie ↔ Hyponymie), bei welcher der über-geordnete Begriff sich auf einen Gegenstand als Ganzes bezieht und die untergeordneten Begriffe sich auf

die Teile dieses Gegenstandes beziehen [Lut07][Bro02b]. Ein Beispiel hierfür ist das Lexem *Stuhl*, welches den Lexemen *Lehne*, *Sitzfläche* und *Bein* übergeordnet ist. Stuhl ist ein Meronym zu den zuvor genannten Lexemen.

Nicht immer liegen hierarchische Bedeutungsbeziehungen vor. In diesen Fällen kann unterschieden werden zwischen:

- *Dynamische Bedeutungsbeziehung* (Konnexonomie) als Bedeutungsbeziehung, die auf einer direkten Abhängigkeit zwischen Termini im Sinne einer Vor- und Nachordnung beruht. Diese dynamische Bedeutungsbeziehung kann zeitlich (als temporale Bedeutungsbeziehung) bestehen und mittels deterministischen oder stochastischen Attributen beschrieben werden. Die dynamischen Bedeutungsbeziehungen können auch durch kausale Zusammenhänge beschrieben werden, welche sowohl sequentiell als auch nebenläufig sein können.
- *Pragmatische Bedeutungsbeziehung* als Bedeutungsbeziehung, die auf Grund von thematischen Zusammenhängen zustande kommt. Zwei Begriffe sind Antonyme, wenn sie zueinander im Bedeutungsgegensatz stehen und sich gegenseitig ausschließen. Kontradiktorische Antonyme kennen genau zwei Ausprägungen, aber nichts möglicherweise dazwischen Liegendes. Bei konträren Antonymen existieren neben den Extrema weitere Ausprägungen [SS08a].

### **Relationen zwischen Begriffen und Benennungen (concept-term-relations)**

Es liegt in der Natur von Fachsprachen, dass diese der Artikulation neuer Erkenntnisse dienen [Hom03]. Es gibt somit zwangsläufig Fälle, in denen zwar in der außersprachlichen Wirklichkeit ein beobachtbares Phänomen existiert, diesem jedoch in der Sprache noch keine passende Benennung entspricht [Lew04]. Dieser vorliegenden *semantischen Lücke* wird durch Neuschöpfung sprachlicher Ausdrücke (Neologismen) begegnet. Eine möglichst eindeutige Festlegung der Relationen zwischen Begriffen und Benennungen ist bei dem sich mit fortschreitender Erkenntnis stetig weiter ausdifferenzierenden sprachlichen Inventar von immenser Wichtigkeit. Nur auf diese Weise bleibt die Eindeutigkeit fachsprachlicher Kommunikation erhalten. Im (theoretischen) Idealfall weisen Benennungen genau eine Bedeutung auf (Monosemie) und eine Bedeutung wird durch genau eine Benennung bezeichnet (Mononymie). In der Praxis jedoch lassen sich kommunikative Probleme oftmals auf das Vorhandensein von *Mehrfachbenennungen* und *Mehr-deutigkeiten* zurückführen. Diese Aspekte sollen im Folgenden näher beleuchtet werden.

Liegen *Mehrfachbenennungen* für einen Begriff vor, wird dies als *Synonymie* bezeichnet. In diesem Fall gibt es zwei oder mehrere Benennungen mit (relativer) Bedeutungsgleichheit. Es ist die Rede von einer *strikten Synonymie*, wenn die Bedeutung äquivalent ist und die sprachlichen Ausdrücke in allen Kontexten beliebig austauschbar sind [Cru02a]. Ein Beispiel hierfür sind die gleichwertigen Benennungen *Sonntag* und *Samstag* für den sechsten Tag der Woche. Neben diesen strikten Synonymien gibt es so genannte *partielle Synonyme*, die im Wesentlichen bedeutungsgleich sind, in Einzelheiten jedoch Bedeutungs-differenzen aufweisen. Solche Differenzen können Unterschiedliches ausdrücken wie dies beispielsweise im politischen Sprachgebrauch in der nuancierten Unterscheidung zwischen *Angriff* und *Präventivschlag* deutlich wird [Hom03].

Das Vorliegen von Doppel- oder Mehrdeutigkeiten wird auch als *Ambiguität* bezeichnet [Hom03]. Sie entsteht, wenn Ausdrücke auf verschiedene Weise interpretiert werden können. Das Vorkommen lexikalischer Mehrdeutigkeiten sollte innerhalb eines Terminologiegebäudes nach Möglichkeit vermieden oder aufgelöst werden, wobei zwischen *Homonymie* und *Polysemie* unterschieden werden kann [DIN04a][SC96]. In der Linguistik ist die theoretische Grundlage dieser Unterscheidung umstritten, da sie davon abhängt, ob eine diachrone (historische) oder synchrone (ahistorische) Betrachtung der Sprache vorliegt (vgl. Abbildung 4-7). Die Termini *Homonymie* und *Polysemie* werden in der Sprachwissenschaft selbst in zwei verschiedenen Bedeutungen verwendet, je nachdem, welche der beiden Perspektiven auf Sprache vorliegt. Diese beiden Perspektiven werden nachfolgend erläutert um das dieser Arbeit zu Grunde liegende Verständnis dieser Termini zu schaffen, welches auf einer synchronen Sprachbetrachtung beruht.

		Betrachtung der Sprache	
		diachron (historisch)	synchron (ahistorisch)
Ambiguität (Mehrdeutigkeit)	Homonymie	Beziehung zwischen zwei Lexemen, die unterschiedliche Begriffe repräsentieren und einen <b>unterschiedlichen etymologischen Ursprung</b> haben.	Beziehung zwischen zwei Lexemen, die unterschiedliche Begriffe repräsentieren und <b>keinen gemeinsamen Bedeutungskern</b> aufweisen.
		Beispiel: - Kiefer (Gesichtsknochen; mhd: <i>kiver</i> ) - Kiefer (Baum; ahd.: <i>kienfurha</i> )	Beispiel: - Kiefer (Gesichtsknochen, Baum) - Bank (Kreditinstitut, Sitzmöbel)
	Polysemie	Beziehung zwischen zwei Lexemen, die unterschiedliche Begriffe repräsentieren und einen <b>gemeinsamen etymologischen Ursprung</b> haben.	Beziehung zwischen zwei Lexemen, die unterschiedliche Begriffe repräsentieren und <b>einen gemeinsamen Bedeutungskern</b> aufweisen.
		Beispiel: - Bank (Kreditinstitut; mhd: <i>banca</i> ) - Bank (Baum; mhd.: <i>banca</i> )	Beispiel: - Brücke (Bauwerk, Zahnersatz, ...) - Universität (Institution, Bauwerk, ...)

Legende (ahd.: Althochdeutsch; mhd.: Mittelhochdeutsch

Abbildung 4-7: Mehrdeutigkeiten in der synchronen und diachronen Sprachbetrachtung

Bei einer *diachronen (historischen) Perspektive* konstituiert der etymologische Ursprung die Unterscheidung zwischen Homonymie und Polysemie. *Homonymie* ist demnach die Beziehung zwischen zwei Lexemen derselben Sprache, die unterschiedliche Begriffe repräsentieren und einen unterschiedlichen etymologischen Ursprung haben. Die homonymen Lexeme sind hierbei aus ursprünglich differenten Morphemen entstanden, die im Laufe der Zeit gleichlautend wurden. Ein Beispiel hierfür ist das mittelhochdeutsche Wort für den Kiefer als Teil des Gesichtsschädels *kiver* und das althochdeutsche Wort für den heute als Kiefer

bezeichneten Baum *kienfurha*, die heute beide als Kiefer bezeichnet werden [Klu02]. Bei dieser historischen Betrachtung der Sprache ist es irrelevant, ob ein Sprachbenutzer diesen Zusammenhang synchron kennt oder sich diesen erschließen kann. *Polysemie* bezeichnet demgegenüber bei diachroner Betrachtung die Beziehung zwischen zwei Lexemen derselben Sprache, die unterschiedliche Begriffe repräsentieren, aber einen gemeinsamen etymologischen Ursprung haben [DIN04a]. Nicht nur die Benennung und die grammatischen Eigenschaften eines Lexems können sich im Laufe der Sprachentwicklung verändert haben, auch die Bedeutung hat sich unter Umständen über die Zeit erweitert, verschoben oder aufgespalten. Als Beispiel hierfür wird in [SC96] das Lexem *Bank* genannt, welches zum einen die Bedeutung *Geldinstitut* und zum anderen die Bedeutung *Sitzgelegenheit* aufweist. Der gemeinsame etymologische Ursprung geht zurück bis ins Mittelhochdeutsche, wo die *banca* der lange Tisch des Geldwechslers war. Hieraus wurde die Bedeutung des Geldinstituts abgeleitet [Klu02].

Bei einer *synchronen (ahistorischen) Perspektive* konstituiert ein gemeinsamer Bedeutungskern die Unterscheidung zwischen Homonymie und Polysemie. Demnach liegt *Homonymie* dann vor, wenn gleiche Benennungen vollkommen unterschiedliche Begriffe implizieren, die aus synchroner Perspektive keinen gemeinsamen Bedeutungskern mehr aufweisen (im Gegensatz zur Polysemie). Das Lexem *Bank*, welches aus der zuvor erörterten diachronen Perspektive heraus unter Berücksichtigung des etymologischen Ursprungs als polysem aufgefasst wird (Kreditinstitut, Sitzgelegenheit) ist in synchroner Perspektive homonym, da ein synchroner Sprecher keinen Zusammenhang zu erkennen glaubt. Gleiches gilt für das Lexem *Kiefer*. *Polysemie* liegt demgegenüber genau dann vor, wenn ein Lexem verschiedene Bedeutungsvarianten aufweist, die im Gegensatz zur Homonymie auf einen gleichen Bedeutungskern (einen gemeinsamen semantischen Zusammenhang) schließen lassen, sich im Detail aber beträchtlich unterscheiden können. Im Gegensatz zur ersten Lesart ist die gemeinsame Bedeutung jedoch nicht zwangsläufig auf eine gemeinsame etymologische Wurzel zurückzuführen. Ausschlaggebend ist hier, ob ein Sprachbenutzer zu einer bestimmten Zeit einen gleichen Bedeutungskern erkennt oder zu erkennen vermeint. Auch wenn keine gemeinsame etymologische Wurzel vorliegt, kann ein Sprachbenutzer diese synchron annehmen. Ein Beispiel hierfür ist der Ausdruck *Brücke*, welcher mehrere Bedeutungen aufweist, die auf eine gemeinsame Grundbedeutung ("Überbrückung eines Zwischenraums") zurückgeführt werden können. Es ergeben sich hier verschiedene Lesarten der Brücke als Verbindung zweier Tal- und Flussseiten, als Turnübung, als Zahnersatz oder als schmaler Teppich [Hom03].

Zuvor ist deutlich geworden, dass in synchroner Perspektive für die Postulierung der Polysemie zwei Bedingungen ausschlaggebend sind. Zum einen muss es zwischen den postulierten Bedeutungen eines polysemen Wortes einen semantischen Zusammenhang geben, da diese ansonsten *Homonyme* wären. Sie weisen also durch semantische Relationen aufeinander bezogene, jedoch selbstständige, Bedeutungen auf [Dob06]. Zum anderen müssen die postulierten Bedeutungen klar nachvollziehbare linguistisch relevante semantische Unterschiede aufweisen, da es sich ansonsten um *Monoseme* handeln würde [Dob06]. Die Untersuchung der Entstehung von Mehrdeutigkeiten (insbesondere Polysemen) ist eine zentrale Fragestellung der Linguistik. Die linguistische Forschung geht hierbei davon aus, dass Mehrdeutigkeit nicht nur durch historischen Zufall, sondern durch "mehr oder weniger

produktive Mechanismen der semantischen Derivation" [Dob06] gesteuert wird, sondern es in diesem Bereich eine gewisse Regularität geben muss. Nach [Apr74] liegt eine solche *reguläre Polysemie* genau dann vor, wenn das Wort A Bedeutungen  $A_i$  und  $A_j$  mit linguistisch relevanten Unterschieden aufweist und sich zumindest noch ein Wort B findet, dessen Bedeutungen  $B_i$  und  $B_j$  in den gleichen semantischen Relationen zueinander stehen wie  $A_i$  und  $A_j$ . Dabei dürfen  $A_i$  und  $B_i$  sowie  $A_j$  und  $B_j$  untereinander nicht synonym sein. Generell können verschiedene Typen regulärer Polysemie unterschieden werden, die jeweils relevante Unterschiede in der Technik der semantischen Derivation aufweisen [Dob06]. Die meisten bekannten Beispiele der regulären Polysemie sind nach dem Prinzip der metonymischen Bedeutungsverschiebung auf Grund der Verschiebung des semantischen Akzents organisiert [Bie83]. Für die Darstellung der Derivationsprinzipien der anderen Typen sei auf [Dob06] verwiesen. Eine irreguläre Polysemie liegt demnach dann vor, wenn nicht ein anderes Wort B der gleichen Sprache ebenfalls Bedeutungen aufweist, zwischen denen die gleiche semantische Relation wie zwischen den Bedeutungsvarianten  $A_i$  und  $A_j$  des Wortes A besteht [Apr74].

Die zuvor genannte Definition der regulären Polysemie zeigt, dass zunächst für eine lexikalische Einheit die Beziehungen (semantische Relationen) zwischen ihren Bedeutungsvarianten identifiziert werden. Jede dieser semantischen Relationen erlaubt eine spezifische konzeptuelle Interpretation [Bie83]. Diese Struktur semantischer Relationen kann auf andere lexikalische Einheiten übertragen werden und wird hierdurch verallgemeinert [NZ92]. Durch diese Gruppenbildung lexikalischer Einheiten ergeben sich Klassen analog variierender Einheiten [Bie83]. Die Struktur der bestehenden semantischen Relationen ist ein bestimmtes Raster für die Vertreter der jeweiligen semantischen Klasse. Ein klassisches Beispiel der regulären Polysemie ist das Wort *Schule*. Diese lexikalische Einheit erlaubt verschiedene konzeptuelle Interpretationen. Beispiele solcher möglicher Interpretationen sind die Schule als Institution ("Die Schule spendete einen größeren Betrag"), als Gebäude ("Die Schule hat ein Flachdach"), als Ensemble von Prozessen ("Die Schule macht ihm großen Spaß") sowie die Institution als Prinzip ("Die Schule ist eine der Grundlagen der Zivilisation") [Bie83]. Die semantischen Relationen zu den verschiedenen Bedeutungen sind generisch und können im Grundsatz für eine Vielzahl lexikalischer Einheiten verallgemeinert werden. Beispielsweise existieren für die Wörter Universität, Museum, Gericht, Theater und Gefängnis ebenfalls entsprechende Bedeutungsvarianten als Institution und als Gebäude. Weitere Beispiele sind beispielsweise die Verwendung eines Ortsnamens, um sich auf die darin wohnenden Menschen zu beziehen ("Frankfurt stimmte für die dritte Startbahn") oder die Verwendung des Namens einer Zeitung, um sich auf den Herausgeber zu beziehen ("Die Frankfurter Rundschau ist gegen die dritte Startbahn") [NZ92].

Die reguläre Polysemie ist nicht in jedem Fall und zwangsläufig produktiv. Die Grenzen der regulären Polysemie offenbaren sich sowohl innersprachlich als auch zwischensprachlich. *Innersprachlich* lässt sich nicht für jedes Wort A mit der Bedeutung des Typs  $A_i$  automatisch auf eine Bedeutung des Typs  $A_j$  schließen [Apr74][Dob06]. Dies wird bei Wörtern wie *Regierung* und *Parlament* deutlich, welche hinsichtlich ihrer Lexikalisierung Asymmetrien aufweisen: Das Wort *Regierung* hat standardsprachlich keine Bedeutung eines Gebäudes wohingegen das Wort *Parlament* als Gebäude kontextfrei interpretierbar ist [Dob06]. Umgekehrt gibt es natürlich auch Einheiten, die Gebäude, aber keine Institutionen als

Interpretationen zulassen. Als Beispiel hierfür sei das Lexem *Palast* genannt [Bie83]. Auch *zweisprachlich* ist die reguläre Polysemie nicht automatisch produktiv. Das Phänomen der regulären Polysemie ist einzelsprachspezifisch, da sich zweisprachliche Unterschiede darin zeigen, dass die jeweilige Sprache ganz bestimmte Typen der semantischen Derivation bevorzugt [Dob06]. Die Realisierung hängt daher von vielen heterogenen einzelsprachspezifischen Faktoren ab.

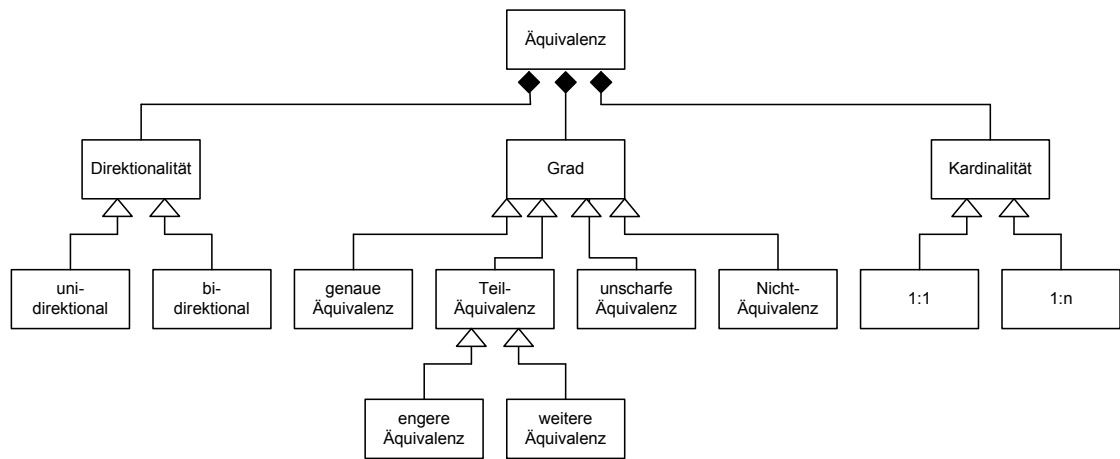
Die angestrebte Monosemierung, obwohl theoretisch wünschenswert, ist praktisch nicht durchführbar. Dürfte eine Lexikoneinheit (Lexem) strikt nur eine Bedeutung haben, so würde sich die Anzahl der erforderlichen Lexeme stark erhöhen. Vor dem Hintergrund der sprachlichen Ökonomie wird das Ideal der Homonym- und Synonymfreiheit nicht erreicht werden können. Die sprachliche Ökonomie beschreibt hierbei das Bemühen mit einem Minimum an sprachlichem Aufwand ein Maximum an kommunikativem Effekt zu erzielen. Insofern wird eine Beherrschung von Mehrdeutigkeiten und Mehrfachbenennungen angestrebt, indem diese im Sinne eines kontrollierten Vokabulars explizit ausgewiesen werden (vgl. Abschnitt 4.3.4). Falls erforderlich kann auch eine Disambiguierung durch einen Kontextbezug (Verweis auf die zugehörige Varietät) erfolgen.

### **Relationen zwischen Benennungen (inter-term-relations)**

Im Rahmen der Terminologieharmonisierung werden Benennungen und Begriffe verschiedener Sprachen miteinander verglichen. Auch in der Übersetzungsforschung ist diese Fragestellung von erheblicher Relevanz [Neu04]. Es müssen hierbei *Relationen zwischen Benennungen* analysiert und differenziert werden. Die Äquivalenz ist eine Beziehung zwischen Benennungen in verschiedenen Sprachen, welche den gleichen Begriff repräsentieren [ISO00a]. Die Relation der Äquivalenz kann weiterhin durch ihre Eigenschaften der Direktionalität, den Grad der Äquivalenz sowie der Kardinalität dieser Relation unterschieden werden. Dies ist in Abbildung 4-8 dargestellt.

Die *Direktionalität* ist eine Eigenschaft äquivalenter Benennungen, welche bezeichnet, ob ein einheitlicher Grad der Äquivalenz bei einer Übersetzung von einer ersten in eine zweite Sprache im Vergleich zu einer Übersetzung von einer zweiten in die erste Sprache besteht [ISO99a][ISO02a]. Gemäß [ISO99a] kann die Äquivalenz bezüglich ihrer Direktionalität in eine unidirektionale und bidirektionale Äquivalenz unterteilt werden.

Der *Grad der Äquivalenz* weist darauf hin, inwieweit sich die Umfänge zweier oder mehrerer Begriffe überdecken [ISO99a]. Aus einer natürlichen Sprache gewählte Benennungen können sich unterscheiden, inwieweit sie denselben Begriff repräsentieren. Die Äquivalenzgrade ordnen sich auf einem Kontinuum an, dessen Extrem auf der einen Seite durch die genaue Äquivalenz definiert ist. Weitere Abstufungen lassen sich durch die verschiedenen Grade der Teiläquivalenz und unscharfen Äquivalenz treffen. Letztlich stellt die Situation, in der eine Benennung in einer Sprache einen Begriff repräsentiert, der in der anderen Sprache nicht durch eine einzige äquivalente Benennung ausgedrückt werden kann, das andere Extrem dar [ISO85].



**Abbildung 4-8: Relation zwischen Benennungen (Äquivalenzrelation)**

- *Genaue Äquivalenz*: In der Zielsprache stimmt die Benennung eines Begriffs hinsichtlich ihrer Bedeutung und ihres Umfangs mit der Benennung der Ausgangssprache überein [DIN93a][ISO85].
- *Teiläquivalenz*: Benennungen aus verschiedenen Sprachen beziehen sich auf denselben Begriff, die Benennung einer Sprache gibt jedoch einen geringfügig weiteren Begriff wieder [DIN93a][ISO85]. Gemäß [ISO99a] kann die Teiläquivalenz zusätzlich noch in eine *engere Äquivalenz* (die Benennung der Zielsprache hat einen geringeren Begriffsumfang als die Benennung der Ausgangssprache) oder eine *weitere Äquivalenz* (die Benennung der Zielsprache hat einen größeren Begriffsumfang als die Benennung der Ausgangssprache) unterschieden werden.
- *Unscharfe Äquivalenz*: Die Benennung der Zielsprache repräsentiert einen Begriff, dessen Inhalt sich mit dem Begriff der Ausgangssprache weitgehend überschneidet [DIN93a].
- *Nicht-Äquivalenz*: Die Zielsprache enthält keine Benennungen, die der Bedeutung der Ausgangssprache weder teilweise noch unscharf entsprechen [DIN93a].

*Kardinalitäten* beschreiben die Komplexität oder den Grad einer Beziehung zwischen zwei Entitäten. Vor dem Hintergrund zwischensprachlicher Beziehungen zwischen Benennungen kann es vorkommen, dass in der Ausgangssprache ein Begriff von einer Benennung repräsentiert wird, in der Zielsprache hierfür jedoch mehrere Begriffe existieren von denen jeder über eine eigene Benennung verfügt [ISO85]. Ein Beispiel für solche unterschiedlichen Verständnisse ist der Terminus *Sicherheit*, welcher als Freiheit von nicht akzeptierten Risiken verstanden wird [DIN06b][DIN00a]. Während im Deutschen ein Vergleich zum angloamerikanischen Sprachgebrauch der Umfang des Begriffs Sicherheit größer ist, existiert dort die Differenzierung zwischen „Security“ (Sicherheit im Sinne einer Angriffssicherheit) und „Safety“ (Sicherheit im Sinne der Betriebssicherheit).

Darüber hinaus können mit der Homographie und der Homophonie zwei weitere Relationen zwischen Benennungen identifiziert werden:

- *Homographie* ist eine weitere Relation zwischen Benennungen. Gemäß [ISO00b] haben Homographen zwar die gleiche Schreibweise aber eine unterschiedliche Aussprache. Unter Berücksichtigung des zunehmend internationalen Umfelds in der Terminologearbeit können unterschiedliche Arten von Homographen differenziert werden. Bei „*intra-*



*language homographs*“ weist eine gegebene Benennung mehr als eine Bedeutung in einer Ausgangssprache auf. Ein Beispiel hierfür ist das Lemma *modern*, welches als Adjektiv beispielsweise die Eigenschaft eines Kleidungsstücks beschreibt, als Verb jedoch den Verfall organischer Substanzen. Bei „*inter-language homographs*“ ist eine gegebene Benennung in mehreren Sprachen vorhanden, bezieht sich jedoch in jeder dieser Sprachen auf einen anderen Begriff [ISO85]. Ein Beispiel hierfür ist das englische Wort *boot* (Stiefel), welches bei gleicher Schreibweise im Deutschen als Wasserfahrzeug aufgefasst werden würde.

- *Homophonie* weisen eine gleiche Aussprache der Benennungen bei unterschiedlichen Schreibweisen auf. Ein Beispiel hierfür sind die Verben *lehren* und *leeren* mit ihren jeweiligen Bedeutungen.

### 4.3.3 Extension

Der Terminus der Extension (Umfang) wird in der Terminologiegrundnormung selbst polysem [APM04][FB89][Wüs78] und teilweise widersprüchlich verwendet. Es existieren die folgenden Bedeutungen:

- Der Begriffsumfang ist *Ergebnis der Begriffsklassifikation* [FB89]: der Begriffsumfang ist die Gesamtheit der einem Begriff auf derselben Hierarchiestufe untergeordneten Begriffe. Jeder Begriff auf dieser untergeordneten Hierarchiestufe ist demnach mit seinem eigenen Begriffsumfang im Begriffsumfang des Ausgangsbegriffs enthalten. Dieses Verständnis findet sich in der Terminologiegrundnorm [DIN04a].
- Der Begriffsumfang ist *Ergebnis der Gegenstandsklassifikation* [FB89]: In der Linguistik bezeichnet die *Extension* die Menge aller Gegenstände, auf die ein sprachlicher Ausdruck angewendet werden kann [Kor99]. Eine Einengung eines Begriffs wird durch Hinzufügen eines einschränkenden Merkmals zu dem Begriffsinhalt des weiteren Begriffs erreicht. Je mehr Merkmale einen Begriff charakterisieren, desto geringer wird die Menge der Gegenstände, die unter diesen fallen und somit schrumpft sein Umfang. Gemäß [DIN93b] können Begriffe ihrem Umfang nach in engere und weitere Begriffe unterschieden werden, wobei der engere Begriff nur einen Teil der unter den weiteren Begriff fallenden Gegenstände umfasst.

Um der dargestellten Problematik der unscharfen Polysemie zu entgehen, ist für die zweite Bedeutung die Benennung *Klasse* eingeführt worden [DIN04a]. Problematisch ist jedoch, dass diese Differenzierung nicht einheitlich in der Terminologiegrundnormung verwendet wird. Darüber hinaus ist es bedenklich, dass in [DIN04a] die Benennung *Extension* als zulässiges Synonym für den Begriffsumfang (im Sinne der Begriffsklassifikation) angegeben wird. Dies steht im krassen Gegensatz zu der Bedeutung, mit der die *Extension* in der Linguistik allgemein assoziiert wird [Kor99].

### 4.3.4 Definition

Beim Definieren wird ein Terminus auf andere nahestehende Termini innerhalb eines Terminologiegebäudes bezogen oder abgegrenzt und somit festgelegt. Dieser Rückgriff auf andere Termini setzt jedoch voraus, dass diese innerhalb eines Terminologiegebäudes aufeinander abgestimmt sind, und klar voneinander abgegrenzt werden. Mehrdeutigkeiten

sollten durch die Vermeidung von Homonymen und zu unscharfen Polysemen ausgeschlossen sein. Die Definition bildet die Grundlage für die Zuordnung einer Benennung zu einem Begriff; ohne sie ist es nicht möglich, diesem Begriff eine geeignete Benennung zuzuordnen [DIN93b] [ISO00b] [ISO00a]. Definitionen können vereinfachend in Real- und Nominaldefinitionen unterschieden werden (vgl. Abbildung 4-9):

- *Nominaldefinitionen* (auch Worterklärungen) beschreiben die Verwendung eines Terminus in einem gewissen Kontext. Es werden keine besonderen Begriffsinhalte oder Merkmale referenziert [SS08a]. Sie findet in der Regel immer dann Anwendung, wenn das zu Definierende vor der fachsprachlichen Bedeutungsfestlegung keine eigenständige Bedeutung hat.
- *Realdefinitionen* (auch Sachdefinitionen oder Sachklärungen) stellen den wesentlichen Kern einer Sache fest. Es werden die Merkmale einer Sache herausgearbeitet, die vergleichbaren Sachen ähnlich sind. Es werden ganz spezifische Eigenschaften, die nur die zu definierende Sache besitzt und diese von anderen unterscheidet, benannt [Sch02a].

Realdefinitionen können weiter unterteilt werden. Liegt eine *Abstraktionsbeziehung* zwischen zwei Begriffen vor, so kann auf den bereits bekannten Inhalt oder den Umfang des Begriffs zurückgegriffen werden. In diesem Fall kann zwischen einer Inhaltsdefinition und einer Umfangsdefinition unterschieden werden.

- Die *Inhaltsdefinition* geht von einem bereits definierten Oberbegriff (=genus proximus) aus und nennt die einschränkenden Merkmale (=differentia specifica), durch welche sich der zu definierende von anderen Begriffen derselben Abstraktionsstufe abgrenzt. Sie geht vom nächsthöheren Oberbegriff aus, dessen Bedeutung als bekannt vorausgesetzt werden kann. Durch die Angabe der Merkmale wird die Einordnung in das Terminologiegebäude und die Abgrenzung gegenüber anderen Termini möglich. So wird beispielsweise der Terminus *Nasallaut* durch die Angabe des übergeordneten abstrakten Terminus (Hyperonym) *Sprachlaut* und des spezifischen Merkmals der Artikulationsstelle definiert zu einem "Sprachlaut, bei dessen Produktion die Luft durch die Nasenhöhle entweicht" [Hom03].
- Die *Umfangsdefinition* definiert einen Begriff durch Aufzählung all seiner Unterbegriffe, die innerhalb des Terminologiegebäudes auf derselben Abstraktionsstufe stehen. Bisweilen kommt auch die Aufzählung von Individuen in Frage. Ein Beispiel hierfür ist die Definition des Terminus Satzglieder: "Satzglieder im Deutschen sind Subjekt, Prädikat, Objekt und Adverbial" [Hom03].
- Im Falle einer Bestandsbeziehung kann der Begriff durch eine *Bestandsdefinition* festgelegt werden. Diese bezeichnet einen Begriff durch die Aufzählung seiner Teilbegriffe. Ein besonderes Augenmerk sollte hierbei auf die Vollständigkeit der Aufzählung gelegt werden (vgl. Abschnitt 3.1.3).

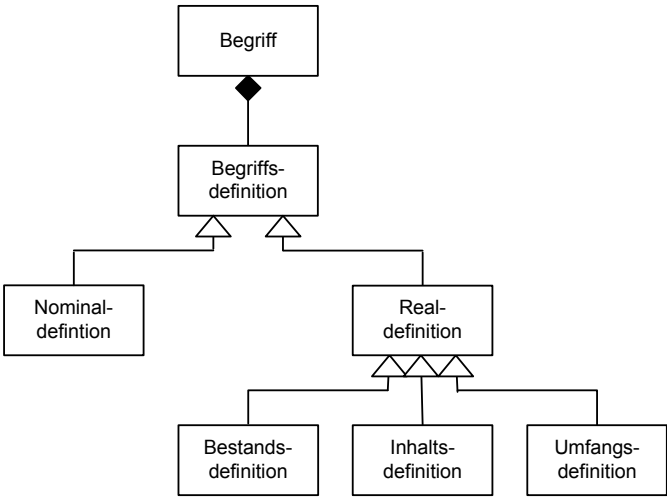


Abbildung 4-9: Definition als Konstituente des Begriffs

## 4.4 Dynamik fachsprachlicher Semantik

Nach [Lut07] kann eine externe und eine interne Dynamik im Wortschatz unterschieden werden. Die so bezeichnete externe Dynamik äußert sich demnach in Form der Variation zwischen Wortschätzen koexistierender (fach-)sprachlicher Varietäten (vgl. Abschnitt 4.4.1). Die interne Dynamik äußert sich in Form des Wandels innerhalb eines (Teil-)Wortschatzes (vgl. Abschnitt 4.4.2).

### 4.4.1 Varietätsbezug fachsprachlicher Semantik

*Sprache* im Sinne eines sozial entwickelten Sprachsystems (*langue* im Sinne Saussures) ist kodifiziert, verfügt über eine schriftliche Tradition, ist oftmals mit einer Nationalität verbunden und erfüllt im Prinzip alle kommunikativen Funktionen einer Sprachgemeinschaft [Ber04]. Die Gemeinsprache (Standardsprache) ist die Sprachform, die von der Allgemeinheit einer Sprachgemeinschaft verstanden und verwendet wird. "Die Gemeinsprache umfasst somit alle schriftlichen und mündlichen Äußerungen, sofern sie in Satzbau, Wortbildung, Formenwahl und Lautung allgemeingültigen Regeln entsprechen" [Hom03]. Jedoch ist eine homogene Sprachgemeinschaft weitgehend Fiktion. Stattdessen bestimmt Heterogenität den (fach-)sprachlichen Alltag [Kor99]. Aus der alltäglichen Erfahrung ist bekannt, dass ein und dieselbe Sprache unterschiedlich gesprochen wird, in Abhängigkeit verschiedener Bedingungen, unter denen sie verwendet wird (Sprecher, Dialogpartner, Ort, Zeit, Umstand, soziale Bedingungen). Jede dieser verschiedenen Spielarten, Sprechweisen oder Existenzformen einer natürlichen Sprache kann als *Varietät* bezeichnet werden. Der Ausdruck Varietät bezeichnet diese Heterogenität einer Einzelsprache. In der Linguistik wird als Varietät eine Teilmenge einer Einzelsprache aufgefasst, die diese ergänzt oder modifiziert, jedoch nicht unabhängig von ihr existieren kann [Kor99]. In diesem Sinne ist eine Sprache als Menge von Varietäten fassbar, wobei in einer Sprache nicht alles variabel ist, sondern es einen statischen invariablen Kern des Systems gibt, den alle Varietäten ein und derselben Sprache teilen [Ber04].

### Charakteristika sprachlicher Varietäten

Nach [Ber04] zeichnet sich eine sprachliche Varietät dadurch aus, dass "gewisse Realisierungsformen des Sprachsystems [gleichzeitig] in vorhersehbarer Weise mit gewissen sozialen und funktionalen Merkmalen der Sprachgebrauchssituation" auftreten. Bei der Bestimmung der Varietät muss demnach eine Korrelation *innersprachlicher* und *außersprachlicher* Merkmale vorliegen [BH97]. In Bezug auf die *innersprachlichen Merkmale* sind Varietäten durch Besonderheiten auf einer oder mehreren Ebenen der Sprachanalyse gekennzeichnet. Die Merkmale, die hierbei eine Varietät charakterisieren, können verschiedenen Ebenen angehören, wie beispielsweise Phonologie, Morphologie, Syntax, Lexik oder Semantik [Ber04]. Daneben ist eine Bestimmung von Varietäten in Bezug auf *außersprachliche Merkmale* möglich. Es lassen sich mehrere Achsen identifizieren, anhand derer eine Klassifikation von Varietäten möglich ist. Nach [Ber04] können Varietäten diachron (historische Varietäten), diatopisch (regionale Varietäten), diastratisch (soziale Varietäten) oder diaphasisch (situative Varietäten) unterschieden werden, wobei auch eine generelle Abhängigkeit der sprachlichen Variation vom Medium, beziehungsweise dem Kanal der Kommunikation (gesprochene oder geschriebene Sprache) betont werden muss.

Varietäten erscheinen als in sich kohärente und systemartige Gebilde im Sinne von "Sprachen in der Sprache", die diskret sind und gegeneinander relativ deutlich abgegrenzt werden können. In der radikalsten Form kann hierbei auch von *Idiolekten* gesprochen werden, womit die individuelle Gesamtsprache inklusive aller beherrschten Varietäten sowie das generelle Sprachverhalten eines einzelnen Sprachteilnehmers bezeichnet wird [Hom03]. In der Regel werden jedoch merkmalsgleiche Idiolekte zu Varietäten aggregiert, so dass Varietäten als ein Gruppenphänomen, beziehungsweise eine gruppenbasierte Sprachgebrauchsform aufgefasst werden können. Als Voraussetzungen dafür, dass Varietäten wahrgenommen und gegeneinander abgegrenzt werden können, werden in der Literatur *Homogenität* und *Stabilität* genannt [Ber04]. Die *Stabilität* der Merkmale ist notwendig, um die einzelnen Varietäten deutlich voneinander abgrenzen zu können, da jedes Sprachsystem immer nur ein augenblickliches ist. Es zeigt sich hier, dass die Sprache neben einem großen stabilen Kern eine volatile Peripherie (beispielsweise einen sich relativ schnell verändernden Wortschatz) aufweist. *Homogenität* bezieht sich hierbei auf das Auftreten einer hinreichenden Zahl gemeinsamer Merkmale, durch die sich eine Varietät von den anderen unterscheidet. Wie bereits zuvor deutlich wurde, können diese Merkmale sowohl innerhalb als auch außerhalb der Sprache liegen. Konkret bedeutet dies, dass, um zu einer in sich relativ homogenen Varietät zu gelangen, jeweils weitere Faktoren konstant gehalten werden müssen, was nichts anderes besagt, als dass die vier Dimensionen (diachron, diatopisch, diastratisch und diaphasisch) gleichzeitig zum Tragen kommen. So kann beispielsweise ein Dialekt hinsichtlich der Zeit, der Sprechergruppe und der Situation variieren. Eine Varietät ist also ein Punkt in einem vierdimensionalen Raum [Ada97].

### Koexistenz fachsprachlicher Varietäten

Da von einer Heterogenität der Einzelsprachen ausgegangen werden muss, existiert eine Vielzahl von Varietäten innerhalb jeder davon. Nicht nur Dialekte und Mundarten, vor allem auch Fachsprachen lassen sich als Varietäten auffassen [Hof04]. Als Fachsprache wird demnach die Variante der Gesamtsprache [verstanden], die der Erkenntnis und begrifflichen Bestimmung fachspezifischer Gegenstände sowie der Verständigung über sie dient und damit den spezifischen kommunikativen Bedürfnissen im Fach allgemein Rechnung trägt [...]

Entsprechend der Vielzahl der Fächer, die man mehr oder weniger exakt unterscheiden kann, ist die Variante 'Fachsprache' in zahlreichen, mehr oder weniger abgrenzbaren Erscheinungsformen realisiert, die als Fachsprachen bezeichnet sind" [MP84]. Die Vielfalt der verschiedenen Fachsprachen rückt somit die Frage ihrer systematischen Gliederung in den Vordergrund. Dass Fachsprachen nebeneinander existieren (horizontale Gliederung) und in verschiedenen Graden der Fachlichkeit bestehen (vertikale Gliederung) [Flu96] ist anerkannt. Hieraus wird jedoch nicht ersichtlich, wie die einzelnen Fachsprachen aufeinander bezogen sind. Das Konzept der Varietät erlaubt hier eine Systematisierung sprachlicher Heterogenität in dem Sinne, dass sich innerhalb einer Varietät Subvarietäten verschiedener Ebenen bilden lassen. Der Sprachvariation wird dadurch berücksichtigt, dass man die Gesamtsprache in kleinere, diskrete und homogene Subsysteme zerfallen lässt. Das Konzept der Varietäten ist somit skalierbar und entspricht somit der immer weiter fortschreitenden fachlichen Differenzierung der wissenschaftlichen Teildisziplinen. Auf diese Weise ergibt sich die Möglichkeit einer immer weiteren Differenzierung in Fachsprachen und Teilfachsprachen. Auf diese Weise ergibt sich eine hierarchische Struktur sich immer weiter differenzierender Varietäten (Baumstruktur).

Da die Kommunikation zunehmend auch über die Grenzen einer Einzelsprache verläuft, drängt sich die Frage auf, welche Konsequenz dies für das Konstrukt der Varietäten hat und ob mithin in verschiedenen Sprachen die gleichen Varietäten vorliegen. Bezüglich gewisser innersprachlicher Merkmale ist eine sprachübergreifende Vergleichbarkeit von Varietäten nicht gegeben, da sich die Sprachsysteme wesentlich voneinander unterscheiden. Gerade hinsichtlich phonologischer, morphologischer und syntaktischer Merkmale wird dies besonders deutlich. Bezüglich der außersprachlichen Merkmale werden Fachsprachen in der Literatur übereinstimmend den funktional-situativen Varietäten zugeordnet [Ada97][Ber04]. Der zuvor genannte Zweck der Fachsprachen "der Erkenntnis und der Bestimmung fachspezifischer Gegenstände sowie der Verständigung über sie" [MP84] zu dienen verdeutlicht, dass im Kontext der Fachsprachen zu Recht davon ausgegangen werden kann, dass sprachübergreifend die gleichen Varietäten vorliegen. Ein Indiz hierfür ist die weltweit übereinstimmend vorgenommene Sachgebietsklassifikation wissenschaftlicher Disziplinen, die sicher auch auf der Vergleichbarkeit des Diskursrahmens beruht, der durch die zu benennenden Entitäten eines Fachgebiets aufgespannt wird.

### **Zuordnung von Fach- und Sachgebietsangaben zu Termini**

Zuvor ist deutlich geworden, dass die Fachsprache selbst wiederum eine Reihe von Varietäten umfasst [Ada97]. Ihre Vorkommensbereiche entstehen durch einen Forschungs- und Bearbeitungsgegenstand, durch eine spezielle Methode oder durch ein spezielles Instrumentarium [Löf05]. Es existieren somit mindestens ebenso viele Fachsprachen wie Fachgebiete [MP84]. Zwar gewinnt eine Fachsprache mit fortschreitender Ausdifferenzierung an Präzision, jedoch wird dies durch einen erheblichen Verlust an Allgemeingültigkeit und breiter Verständlichkeit erkaufte [Flu96]. Jede Wissenschaftsdisziplin verfügt über ein eigenes Terminologiegebäude und spezifische Stilregeln, die jeder, der sich in der entsprechenden Disziplin bewegt, kennen muss [Hec06]. In der Praxis resultieren daher Kommunikationsprobleme in der Regel aus der Unkenntnis des varietäts-spezifischen Sprachgebrauchs. Durch die zunehmende Differenzierung der Fachsprachen vergrößert sich der Abstand der Fachsprachen zur Allgemeinsprache. Auch die Berufsgruppen untereinander isolieren sich

kommunikativ immer mehr, so dass Kommunikationsprobleme zwischen Fachleuten untereinander ebenso häufig wie die zwischen Fachleuten und Laien auftreten [Löf05].

Eine systematische Gliederung einzelner Fächer ist notwendig, um die Komplexität der Sprache beherrschen zu können. Damit einzelnen Fächern zugeordnete Fachsprachen greifbar werden und benannt werden können, bietet es sich an, bestehende Klassifikationssysteme als Systematisierungsmodell zu nutzen [Kal97][MP84]. Die Rekursivität des metasprachlichen Modells des Terminus zeigt sich hier deutlich, denn Varietäten sind selbst wiederum Termini, die mit dem Modellkonzept des Terminus verbindlich festgelegt werden können. Die Systemhaftigkeit der Sprache gilt folglich auch für den eine Varietät beschreibenden Terminus. [Lut07] spricht deshalb davon, dass der Wortschatz einer natürlichen Sprache ein System von Systemen bildet. Fachsprachliche Varietäten erscheinen somit als in sich kohärente, diskrete und systemartige Gebilde im Sinne von „Sprachen in der Sprache“ [Ada97].

Um Varietäten klassifizieren zu können, benötigt man ein Klassifikationssystem. Als hierarchische Anordnung von Klassen wurde dieses nach inhaltlichen Kriterien erstellt. Ein Beispiel hierfür ist die auf Gottfried Wilhelm Leibniz zurückgehende Dezimalklassifikation als erster Ansatz einer universellen Klassifikation mit dem Anspruch, das gesamte Wissen der Menschheit zu erfassen und zu strukturieren. Sie wurde seither kontinuierlich weiterentwickelt und ist die Basis aller modernen Sachgebietsklassifikationen. Varietätsspezifische Verständnisse eines Terminus können dadurch abgebildet werden, dass die Varietät ein zeichenkonstituierendes Element ist. Dadurch, dass jede Varietät ein beschreibendes Lexem aufweist (das selbst wieder eine Varietät hat), spannt sich ein Varietätenbaum auf, der die Verortung von lexemen im interdisziplinären Kontext gestattet. Im gleichen Sinne müssen auch die zwischen Termini bestehenden semantischen Relationen einer fachsprachlichen Varietät zugeordnet werden, was über den Relationstyp geschieht, welcher wiederum durch ein Lexem abgebildet wird. Auf diese Weise können varietätenspezifische Unterschiede im Verständnis einzelner Termini sowie Unterschiede in den varietätsspezifischen Terminologiegebäuden hinsichtlich Inhalt und Umfang der assoziierten Termini verdeutlicht werden.

#### 4.4.2 Diachrone Perspektive fachsprachlicher Semantik

Sprache unterliegt einer ständigen Veränderung und Evolution. Eine Betrachtung der Entwicklungsvorgänge einer Sprache wird von Saussure als *diachronische Sprachwissenschaft* bezeichnet [Sau01]. Wörter und Bedeutungen werden durch überindividuellen praktischen Sprachgebrauch (*parole* im Sinne Saussures) in einer Gesellschaft ausgehandelt und können nicht erzwungen, bzw. gesteuert werden [Dro94]. Nach dem von den Interpreten Saussures vertretenen Strukturalismus [Sau01] ist die Verknüpfung einer Benennung mit einem Begriff *arbiträr* und beruht auf Konvention. Demnach könnte eine Benennung ebenso gut eine andere Bedeutung (Signifikat) haben, und die Bedeutung ebenso gut mit einer anderen Benennung (Signifikant) verknüpft werden, vorausgesetzt, dass die sprachlichen Konventionen andere wären [Löb02]. Die Sprache folgt den Veränderungen in der Welt, dem gesellschaftlichen Wandel und Bewusstsein [Dro94]. Der Auslöser jedes Wandels im Bereich des Wortschatzes ist vor allem das Bedürfnis der Sprachbenutzer, für neue Gegenstände und Sachverhalte überhaupt erst geeignete Bezeichnungen und für bereits bekannte Phänomene

des betrachteten Gegenstandsbereichs Bezeichnungen zu finden, welche die veränderte Perspektive widerspiegeln [Hai01]. Eine (Fach-)Sprache muss ihre Terminologie fortlaufend weiterentwickeln, die als Voraussetzung für eine erfolgreiche (Fach-)Kommunikation präzise, eindeutig und verständlich sein sollte [Sch02b] (vgl. Abschnitt 1.3). Die zunehmende Geschwindigkeit der Innovationsprozesse der Zukunftstechnologien erzwingt geradezu eine kontinuierliche lexikalische Innovation [Teu01][Hai01]. Damit es nicht zum Verlust der Kommunikationsfähigkeit in der eigenen Sprache eines Wissensgebietes kommt, sind die fachsprachlichen Mittel beständig weiterzuentwickeln. Ein solcher *Domänenverlust* droht immer dann, wenn eine Sprachgemeinschaft die Weiterentwicklung angemessener fachsprachlicher Kommunikationsmittel unterlässt [Rat05]. Hierbei kann das Eindringen fremdsprachlicher Elemente [Spi94], beispielsweise durch Fremdwort-integration, durchaus erwünscht sein, um die Kommunikationsfähigkeit im betreffenden Fachgebiet zu erhalten. Nach [Hai01] lässt sich der Wortschatz-wandel in drei Hauptaspekte gliedern:

- Der Zuwachs und der Abgang von Lexemen im Wortschatz werden als *quantitativer Lexemwandel* bezeichnet. Die Vermehrung des Lexembestandes durch Wortbildung, Phraseologiebildung und Entlehnung sind die augenfälligsten Erscheinungen des Wortschatzwandels.
- Das zuvor dargestellte System der Lexemvermehrung wird wesentlich durch das Instrument der Wortbildung determiniert. Unter *Wortbildungswandel* wird eine Änderung der Modelle der Wortbildung (beispielsweise die gerade für die Fachsprachen besonders produktiven Modelle der Partikel-, Objekt-, Adverbial- oder Verbalkomposita [Sch02b]) verstanden. Ändern sich diese Modelle, hat dies langfristige Folgen für den Wortschatz.
- Der *Bedeutungswandel* bezeichnet alle Formen der Vermehrung oder Verminderungen von Einzelbedeutungen eines Lexems. Dieser Wandel kann zum einen auf innovativem Sprachgebrauch beruhen, zum anderen aber einen Bedeutungswandel durch Sachwandel darstellen.

Im Falle des Bedeutungswandels ist auch die Rede von einer *Begriffsänderung* [FB89]. Kommt es im Laufe der Sprachentwicklung dazu, dass sich der einer Benennung zugeordnete Begriff ändert, erfordert dies eine Anpassung der Benennung mit Angabe des aktuellen (veränderten) Begriffs. Es wird deutlich, dass jede Form von Terminologiearbeit ein kontinuierlicher Prozess der Überarbeitung und Anpassung ist. Vor dem Hintergrund vertraglicher und gesetzlicher Anforderungen erwächst hieraus die Aufgabe, die Sprache in ihrer gesamten systemischen Vernetzung [Lut07] abzubilden sowie frühere Versionen wiederherstellen und referenzieren zu können [Wei08b]. Um dies leisten zu können, bedarf das dargestellte metasprachliche Modell des Terminus einer diachronischen Markierung [Sch89] seiner gleichberechtigt nebeneinander stehenden Konstituenten. Über diese Markierung ist die komplette Historie eines Terminus mit all seinen Konstituenten nachvollziehbar.

## 4.5 Formalisierung von Geschehnissen

Geschehnissen kommt für die Verlässlichkeit technischer Systeme eine große Bedeutung zu. Als Grundlage für die später erfolgende Instanziierung der Eigenschaften der Verlässlichkeit als Geschehnisse, wird in diesem Abschnitt zunächst die Sinnrelation der *Reversität* vertieft diskutiert. Im Anschluss wird das bereits in Abschnitt 3.3.2 dargestellte

Formalisierungskonzept für Geschehnisbegriffe konkretisiert.

4.5.1 Reversitätsrelation

Reversität ist eine sinnrelationale Beziehung des Bedeutungsunterschieds zwischen solchen Verben, die mit ihren relevanten Lesarten Vorgänge ausdrücken, bei denen Anfangs- und Endzustand vertauscht sind [Lut07]. Typischerweise bezeichnen die beiden Wörter Veränderungen zwischen zwei Zuständen, die ein binäres System darstellen. Jedoch ist die Reversitätsrelation nicht auf binäre Konstellationen beschränkt, auch wenn Beispiele hierfür rar sind [Cru02b]. Anhand des in Abbildung 4-10 verdeutlichten Beispiels der Übergänge zwischen den Aggregatzuständen chemischer Elemente oder Verbindungen wird die Entsprechung dieser linguistischen Sinnrelation mit den Petrinetzen deutlich. Die Abbildung 4-10 zeigt, welche formalen Eigenschaften der Petrinetze den in [Lut07] genannten Bedingungen der Reversitätsrelation entsprechen.

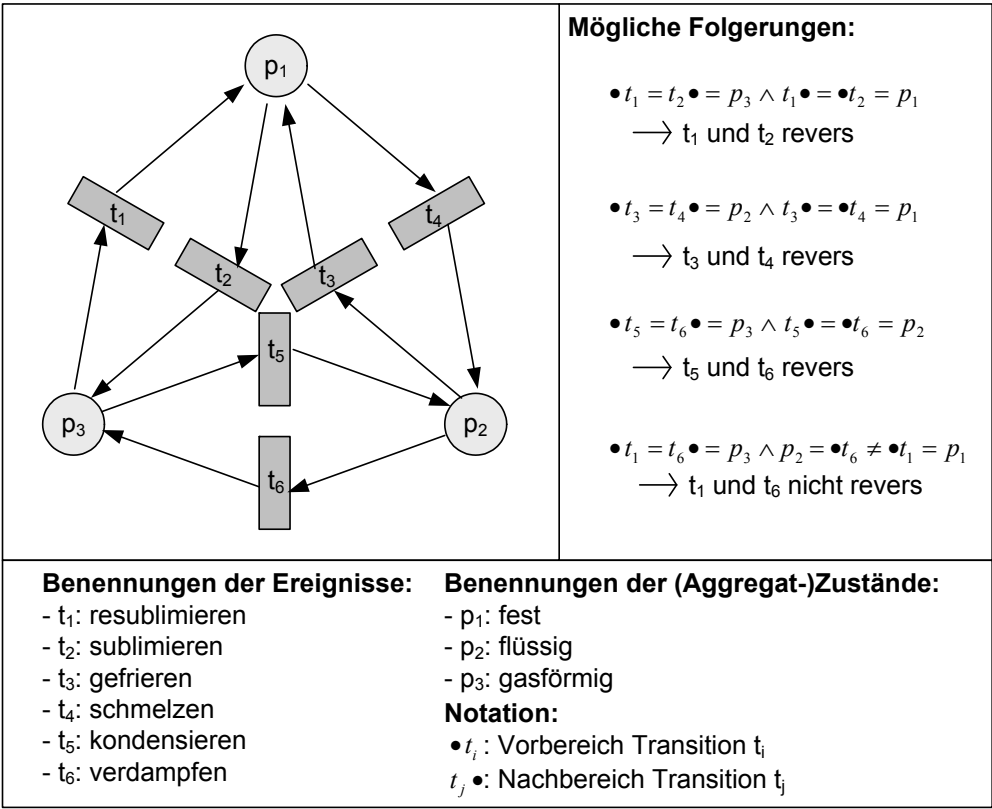


Abbildung 4-10: Darstellung der Reversitätsrelation in Petrinetzen

Nach [Cru02b] kann die Reversitätsrelation weiter differenziert werden:

- Die in Reversitätsrelation zueinander stehenden Geschehnisbegriffe können *logisch voneinander unabhängig* sein, indem keines der beiden Geschehnisse erfordert, dass das erste zuvor ausgeführt sein muss.
- Dem stehen *logisch voneinander abhängige* Geschehnisse gegenüber, bei denen ein Glied des reversen Paares abhängig vom anderen ist. Ein Beispiel einer solchen als *restitutiv* bezeichneten Reversitätsrelation ist das Wortpaar „ausfallen“ und „instand setzen“, da in



diesem Fall der Ausfall der Instandsetzung zwingend vorausgehen muss.

### 4.5.2 Komplementäre Integration auf Beschreibungsmitelebene

In den Ausführungen zur Formalisierung durch Beschreibungsmittel (vgl. Abschnitt 3.2.3) ist deutlich geworden, dass ihre semantische Mächtigkeit für die Qualität einer Spezifikation maßgeblich ist. Die Klassendiagramme der UML und die Petrinetze ergänzen sich gegenseitig hinsichtlich ihrer semantischen Ausdrucksstärke, da sie die zuvor dargestellten statischen und dynamischen Aspekte des Terminus als solchem in einer integrierten Darstellung zusammenfassen.

- Petrinetze ergänzen UML-Klassendiagramme um die dynamischen Zusammenhänge (technischer) Systeme, da in ihnen die semantischen Aspekte der Kausalität und Temporalität darstellbar sind. Die die Dynamik eines Systems konstituierenden kausalen und temporalen Merkmale können selbst als Termini aufgefasst werden, was den Übergang zur zweiten Darstellungsform der UML-Klassendiagramme nahelegt.
- UML-Klassendiagramme ergänzen die verhaltensorientierte Semantik von Petrinetzen um Aspekte der statischen Struktur des Terminologiegebäudes. Die mit Petrinetzen kausal (im Sinne einer Halbordnung) verknüpften Geschehnis- oder Prozessbegriffe werden durch Klassendiagramme mittels der in Abschnitt 4.3.1 vorgestellten hierarchischen Struktur der Attribute ihrer Eigenschaften, Merkmale, Größen und Werte detailliert und verbindlich festgelegt. Die Definition eines Terminus endet somit in der Definition von Größen und zwischen ihnen bestehenden mathematischen Relationen (*quantitativer Begriff* im Sinne Carnaps [Car59]).

Abbildung 4-11 zeigt die integrierte Darstellung der statischen und dynamischen Aspekte von Termini. Die beiden Beschreibungsmittel entsprechen sich wie folgt:

- Der Transition eines Petrinetzes inklusive seiner zugehörigen Pre- und Postkanten (als Ausdruck ihrer Einbettung in die dynamische Systemstruktur) entspricht die gerichtete Assoziation in der Darstellung der UML-Klassendiagramme. In Analogie zu den gerichteten Kanten eines Petrinetzes ist sie nur in einer Richtung navigierbar. Der Assoziationsrelation ist eine Assoziationsklasse zugeordnet.
- Den Plätzen eines Petrinetzes entsprechen die Klassen der UML-Klassendiagramme.
- Die Möglichkeit der temporalen und stochastischen Attributierung von Petrinetzen korrespondiert mit der Angabe von Attributen für die (Assoziations-) Klassen von UML-Klassendiagrammen.

Die in diesem Abschnitt vorgestellte generische Schablone eines (formalisierten) Systemausschnitts wird in den folgenden Kapiteln durch geeignete konkrete Termini instanziiert. Vor dem Hintergrund der zuvor erörterten Reversitätsrelation werden die disjunkten Zustände mit den in reverser Relation zueinander stehenden Ereignissen integriert. Die Zustände werden hierbei als *Fusionsplätze* aufgefasst und die beiden Teilnetze auf diese Weise miteinander integriert.

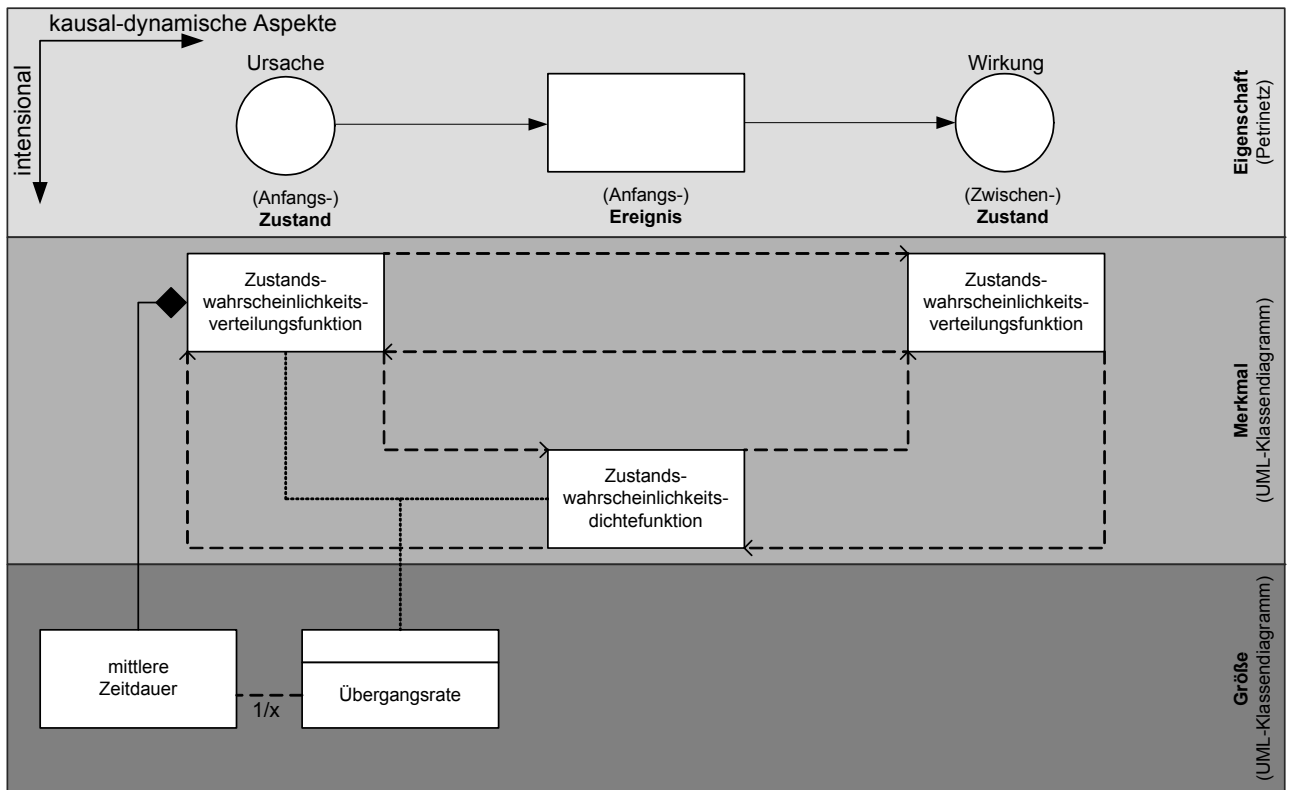


Abbildung 4-11: Integration statischer und dynamischer Aspekte des Begriffs

## 4.6 Terminologiegebäude

[DIN87a] und [ISO00a] definieren den Begriff als "Wissenseinheit, in der die notwendigen Aussagen über einen Gegenstand zusammengefasst werden". Diese Definition stellt einen expliziten Bezug zum Wissen her. Damit das sprachliche Inventar einer Fachsprache und damit ein wesentlicher Teil des vorhandenen Wissens eines Fachgebietes eine stringente Organisation erfahren kann, muss die Sprache als ein "System von Zeichen" (vgl. [Sau01]) aufgefasst werden. Gemäß dieser als *Strukturalismus* bezeichneten Position der Sprachwissenschaft rückt die Struktur zur Erfassung und Beschreibung des komplexen Gebildes Sprache in den Mittelpunkt der Betrachtung. Der Wert eines sprachlichen Zeichens offenbart sich nur aus dem gleichzeitigen Vorhandensein anderer sprachlicher Zeichen, mit denen es vernetzt ist und sich darüber in die Struktur des Sprachsystems einbettet [Sau01]. Da ein Wort lediglich einen Teil des Sprachsystems darstellt, ist sein Wert nur richtig bestimmt durch die Mitwirkung dessen, was außerhalb seiner vorhanden ist. Sein Wert ist begrenzt durch das, was es umgibt und definiert sich somit allein aus seiner Stellung innerhalb des Sprachsystems [Kor99]. Demnach bestehen Termini in Unterscheidungen, die nicht positiv durch ihren Inhalt, sondern negativ durch ihre Beziehungen zu anderen Gliedern des Systems definiert sind: Sie sind etwas, was die anderen nicht sind [Sau01]. Gemäß dieser strukturalistischen Grundauffassung konstituiert sich ein Terminologiegebäude als eine entsprechend den Relationen geordnete Menge an Termini [DIN80]. Abbildung 4-12 stellt den Begriff mit seinen Relationen innerhalb eines Terminologiegebäudes dar.

Terminologiegebäude sind zentrale Artefakte des wissenschaftlichen Diskurses. Sie dienen der Ordnung des Wissens, erlauben durch Normung der Terminologie eine eindeutige und

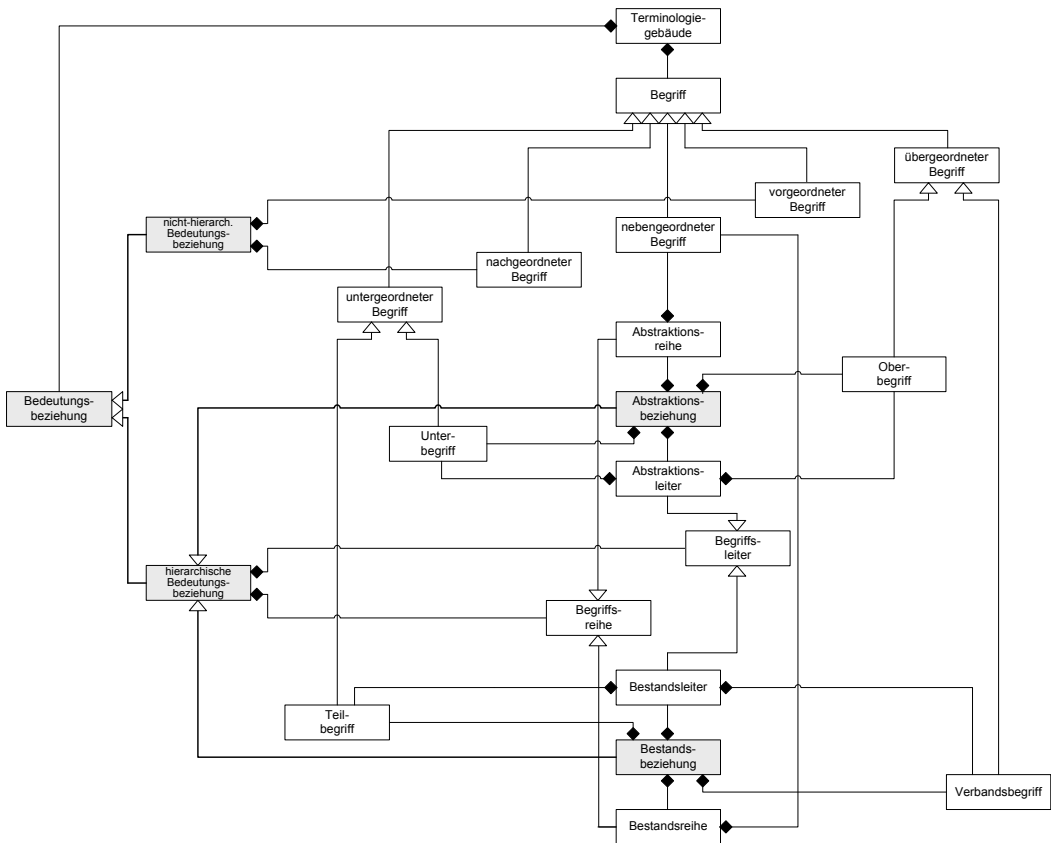


Abbildung 4-12: Der Terminus innerhalb eines Terminologiegebäudes

widerspruchsfreie Kommunikation in einem Fachgebiet, ermöglichen durch die Offenlegung der Struktur des Sprachsystems die Harmonisierung von Begriffen und Benennungen in verschiedenen Sprachen und fördern die Erstellung vollständiger Definitionen durch die Einbettung eines sprachlichen Zeichens in seinen systemischen Zusammenhang [DIN04a] [DIN93b].

In der Fachsprache der Automatisierungstechnik wird oftmals undifferenziert auf Terminologiegebäude Bezug genommen. Es fällt auf, dass dort für die Termini *Glossar*, *kontrolliertes Vokabular*, *Thesaurus*, *Klassifikation*, *semantisches Netz* und *Ontologie* nur ein unscharfes Verständnis vorliegt. Im Folgenden wird daher eine schärfere Abgrenzung verschiedener Repräsentationsformen einer Terminologie vorgenommen. Abbildung 4-13 konkretisiert die von [BP06] postulierte „semantische Treppe“ um die konstituierenden Merkmale der jeweiligen Repräsentationsform. Die Ausdrucksmächtigkeit von Wissensrepräsentationen nimmt mit der Anzahl der genutzten unterschiedlichen Relationstypen zu, allerdings erhöht jeder zusätzliche Relationstyp die Komplexität [Gey09]. In der Regel geht dies auf Kosten des Umfangs der darstellbaren Wissensdomäne [SS08a].

		termino- logische Kontrolle			darstellbare Bedeutungsbeziehung					verwendete Indexierungs- bezeichnung				
		Bedeutungsfestlegung	Auflösung von Mehrdeutigkeiten	Auflösung von Mehrfachbenennungen	Bestandshierarchie	Abstraktionshierarchie	Monohierarchie	Polyhierarchie	Assoziationsrelation	Notationen	Deskriptoren	Identifikatoren (URI)	Integritätsregeln	Inferenzregeln
Form der Wissensrepräsentation	unreflektierter Sprachgebrauch													
	Glossar	X												
	kontrolliertes Vokabular	X	X	X										
	Taxonomie	X	X	X	X	X	X							
	Klassifikationssystem	X	X	X	X	X	X	X		X				
	Thesaurus	X	X	X	X	X	X	X	X		X			
	semantisches Netz	X	X	X	X	X	X	X	X			X		
	Ontologie	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X

Abbildung 4-13: Charakteristika verschiedener Formen der Wissensrepräsentation

Eine *Terminologie* ist die Gesamtheit der in einem Fachgebiet geltenden Fachausdrücke [DIN04a][Hom03]. Eine solche Festlegung und wechselseitige Abgrenzung einzelner Termini erzwingt in der Regel die Einbeziehung weiterer Termini in den Prozess der terminologischen Klärung, so dass letztlich nur die Behandlung einer in gewissem Sinne vollständigen, den thematischen Zusammenhang abdeckenden Menge an Termini hierfür zweckmäßig erscheint.

Hinsichtlich der semantischen Reichhaltigkeit können die folgenden verschiedenen Repräsentationsformen einer Terminologie unterschieden werden.

### Unreflektierter Sprachgebrauch

Der *unreflektierte Sprachgebrauch* zeichnet sich durch das Fehlen offenkundiger Bedeutungsfestlegungen aus. Worte werden ohne dokumentierte Bedeutungen verwendet, so dass es zu Missverständnissen und Unverständnis kommen kann, da unter Umständen eine Diskrepanz zwischen Gemeintem und tatsächlich Verstandenem vorliegt.

### Glossar

Ein *Glossar* ist die Repräsentation einer einfachen alphabetisch gereihten Liste von Benennungen mit ihren Erklärungen. Auf dieser Stufe der Terminologiarbeit erfolgt noch keine explizite Festlegung von Bedeutungsrelationen. Sie sind in der Regel auf dieser Ebene implizit in den Definitionen enthalten. Es liegt somit noch kein Terminologiegebäude im Sinne von [DIN80] vor, da es sich lediglich um eine Sammlung von Benennungen und in ihrer Definition sprachlich gefassten Begriffen handelt. Eine Glossar bietet damit die Basis für weitergehende Terminologiegebäude, die über zusätzliche Strukturierungs- und Verknüpfungsmechanismen verfügen. Ein Glossar ist also immer Bestandteil der nachfolgend vorgestellten mächtigeren Formen der Wissensrepräsentation.

### Kontrolliertes Vokabular

*Kontrollierte Vokabulare* stellen eine grundlegende Form der Wissensrepräsentation dar. Alle Maßnahmen, die dazu dienen, Begriffe und Benennungen eindeutig aufeinander zu beziehen, werden als *terminologische Kontrolle* bezeichnet. Das Ziel ist die Vermeidung von Mehrdeutigkeiten (Homonymien und Polysemien). Die in solchen Vokabularen beschriebenen Deskriptoren vermeiden zudem das Auftreten von Synonymen, in dem jedem Begriff genau ein oder zumindest ein bevorzugter Deskriptor zugewiesen wird. Darüber hinaus enthält es eine Liste abgelehnter Benennungen. Für die komplexe Aufgabe der Wissensmodellierung greift diese Form der Wissensrepräsentation zu kurz, da keine Strukturen gebildet werden können und Kontextabhängigkeiten von Deskriptoren nicht reflektiert werden [KS06].

### Taxonomie

Eine *Taxonomie* ist ein kontrolliertes Vokabular, das in einer monohierarchischen Struktur organisiert ist. Taxonomien zeichnen sich durch über mehrere Ebenen konsequent beibehaltenen einheitlichen Strukturierungsprinzipien aus [LK07]. Unter Berücksichtigung einheitlicher Strukturierungsmerkmale ergibt sich ein stringentes Terminologiegebäude mit sich wechselseitig ausschließenden „Pfad“ über eine indefinite Anzahl sukzessiver Stufen.

Ein Beispiel für Taxonomien aus dem Bereich der Automatisierungstechnik sind:

- die Taxonomie der Stellventile [DIN99a] und
- die Taxonomie der Sensorsysteme [DIN99b].

### Klassifikationssysteme

*Klassifikationssysteme* teilen Begriffe nach gemeinsamen Merkmalen in Gruppen (Klassen) ein. Eine Klasse ist hierbei eine Zusammenstellung der Begriffe, die mindestens ein identisches Attribut haben [DIN87a]. Ein Begriff hat dabei einen Oberbegriff, kann aber auch selbst wiederum Oberbegriff für andere Begriffe sein. Im Gegensatz zu Taxonomien erlauben

Klassifikationssysteme eine polyhierarchische Struktur. In traditionellen Klassifikationen werden oft Nummern und/oder Buchstaben als Indexierungsbezeichnung (Notation) für Klassen eingesetzt [Gey09]. Die Notation als Bildungsregel für Zeichenfolgen repräsentiert als Vorzugsbenennung eine Klasse, einen Begriff oder eine Begriffskombination und bildet diese in ihrem systematischen Zusammenhang ab.

Für die Nutzer wäre das ausschließliche Arbeiten mit Notationen kaum zweckmäßig, für sie müssen natürlichsprachliche Zugänge zu den Notationen erstellt werden. Für jede natürliche Sprache werden mehrere Benennungen (Synonyme) aufgenommen, mit denen potenzielle Benutzer den entsprechenden Begriff suchen können. Da nur die Benennungen, nicht aber die Notationen über mögliche Homonyme verfügen, klärt sich in Klassifikationssystemen das Homonymproblem in gewisser Hinsicht von selbst. Der Nutzer wird bei der Eingabe eines Homonyms zwangsläufig auf unterschiedliche Notationen geführt, die für die jeweils verschiedenen Begriffe stehen und damit die Homonyme trennen [SS08a].

In den letzten Jahren sind verschiedene branchenspezifische oder branchenübergreifende *Objektklassifikationssysteme* (Klassifikationssysteme, deren Begriffe sich auf einzelne Objekte beziehen) entwickelt worden, da mit der zunehmenden Nutzung des Internets für den Vertrieb und die Beschaffung von Gütern gehäuft Probleme bezüglich einer eindeutigen semantischen Interpretation der vorhandenen Informationen auftraten. Oftmals werden für dieselbe Art von Produkt oder dasselbe Produktmerkmal unterschiedliche Benennungen verwendet. Um dem zu begegnen, wird für die Beschreibung von Produktdaten ein kontrolliertes Vokabular benötigt, welches ihre Auffindbarkeit und Vergleichbarkeit gewährleistet. Objektklassifikationssysteme leisten eine eindeutige Kennzeichnung der klassifizierten Güter durch Klassifikationscodes und eine standardisierte Beschreibung spezifischer Details durch vorgegebene Merkmale. Auf Grund ihrer Vielzahl werden im Folgenden nur einige der in der Praxis verwendeten Klassifikationssysteme exemplarisch vorgestellt:

- *eC/@ss* ist ein domänenunabhängiges Beschreibungsschema für Produkte, Güter und Dienstleistungen [EWZ+00].
- *UNSPSC* (*United Nations Standard Products and Services Code*) ist ein domänenunabhängiger, offener und globaler Standard zur Klassifizierung von Waren und Dienstleistungen [GHK+06].
- *proficl@ss* ist eine Klassifikation technischer Produkte, welche vom Ansatz her branchenübergreifend angelegt ist, im ersten Schritt jedoch nur die Bereiche Bauen, Gebäudetechnik und Industriebedarf adressiert [HE03].
- *ETIM* (*Elektrotechnische Informationsmodell*) ist ein branchenspezifisches Klassifikationssystem für die über den Elektrogroßhandel vertriebenen Produkte. Die technischen Eigenschaften der gehandelten Produkte bilden die Grundlage der mit ETIM durchgeführten Klassifizierung.
- *eOTD* (*ECCMA Open Technical Dictionary*) ist eine von der Electronic Commerce Code Management Association eingeführte hierarchische Struktur von Produktgruppen und untergeordneten Klassen. Diese branchenübergreifende Struktur ordnet Waren und Dienstleistungen für eine reibungslose Abwicklung des elektronischen Handels über das

Internet.

- *RNTD (RosettaNet Technical Dictionary)* ist ein Referenzmodell für die Klassifikation und Beschreibung aller in der Wertschöpfungskette der Anwendungsdomänen (Informationstechnologie, Hersteller elektronischer Bauelemente und Halbleiterindustrie) verwendete Produkte.

Neben den zuvor dargestellten Objektklassifikationssystemen sind *Sachgebietsklassifikationssysteme* entstanden. Diese waren ursprünglich für den Gebrauch im Bibliothekswesen bestimmt, können aber aufgrund der Allgemeingültigkeit der Kategorien auch in anderen Kontexten angewendet werden [GHK\*06]. Es gibt hierfür folgende Beispiele:

- *DK (Dezimalklassifikation)* zur Darstellung des Wissens aller Gebiete der menschlichen Erkenntnis.
- *DDC (Dewey Decimal Classification)* zur inhaltlichen Erschließung von Bibliotheksbeständen, die in 135 Ländern im Einsatz ist und in 30 Sprachen übersetzt worden ist [SS08a].
- *ICS (International Classification for Standards)* von der International Organization for Standardization (ISO), die als einheitliche Struktur für Kataloge und Datenbanken technischer Standards und Normen dient.

Aus Sicht der Wissensmodellierung bestehen für die Klassifikationssysteme die folgenden Nachteile:

- *Starrheit der Struktur:* Die Struktur zeigt sich zum einen in der Breite auf einer Hierarchieebene. Durch die spezifische Notationsgestaltung kann es unter Umständen schwierig werden, einen neuen Terminus in eine vorhandene Struktur einzugliedern [KS06]. Verfügt beispielsweise eine dezimal unterteilte Notationsstelle bereits über zehn Termini auf der betrachteten Hierarchieebene, ist das Hinzufügen eines elften Terminus infolge des terminologischen Wandels problematisch [SS08a]. Gleiches gilt für die Tiefe einer Hierarchie. Teilweise ist die Hierarchietiefe bei Klassifikationssystemen vorgegeben (z.B. eCl@ss, ETIM), so dass keine Möglichkeit einer flexiblen Gestaltung gegeben ist [HE03].
- *Eingeschränkte semantische Mächtigkeit:* Es ist nur die Abbildung hierarchischer Bedeutungsrelationen möglich [KS06]. Darüber hinaus besteht die Hierarchiestruktur oftmals nur aus einer Klassifikationslinie (Monohierarchie). Mehrere Hierarchiesichten (Polyhierarchie) auf einen Gegenstand (beispielsweise die Katalogsicht, Beschaffungssicht oder Instandhaltungssicht bei Objekt-Klassifikationssystemen) werden nicht unterstützt [HE03].

### Thesaurus

Der Ausdruck *Thesaurus* stammt aus dem Griechischen und bedeutet „Ort zum Einsammeln und Aufbewahren von Schätzen und Weihegaben“ [SS08a]. Dieser Ausdruck wurde zunächst auf altsprachliche Wörterbücher übertragen und bezeichnet in der Wissensrepräsentation ein kontrolliertes Vokabular, das eine Vielzahl von Aussagen über Termini zulässt. Es ist eine geordnete Zusammenstellung von Termini, die in einem Dokumentationsgebiet zum Speichern und Indexieren dient [DIN87b], [ISO86]. Er reichert die taxonomische Struktur um

sinnrelationale Beziehungen zwischen den Elementen an, in dem auch assoziative (thematische) Relationen gebildet werden können [Gey09]. Ein Beispiel für einen Thesaurus ist der *MeSH-Browser* (Medical Subject Headings). Dieses Informationssystem der amerikanischen National Library of Medicine enthält eine Menge von Vorzugsbenennungen für medizinische Fachausdrücke samt ihrer systematischen Bezügen innerhalb eines geordneten Terminologiegebäudes.

### Semantisches Netz

Als *semantisches Netz* wird ein formales Modell von Termini und qualifizierten Relationen zwischen diesen bezeichnet. Diese Form der Wissensrepräsentation bildet die Grundlage vieler moderner informationstechnologischer Anwendungen. Semantische Netze werden durch verallgemeinerte Graphen repräsentiert [Hom03]. In ihnen wird das Wissen durch eine Menge von Knoten (Subjekte oder Objekte) und den zwischen ihnen bestehenden gerichteten Kanten (Prädikate, bzw. Properties) beschrieben. Als Relationen können beispielsweise Hierarchien oder Synonymien auftreten, wodurch einfachere Formen der Wissensrepräsentationen, etwa Taxonomien, impliziert werden [KS06]. Beispiele für lexikalisch-semantische Netze sind:

- das WordNet (Cognitive Science Laboratory, Princeton University) und das
- GermaNet (Seminar für Sprachwissenschaft, Universität Tübingen).

### Ontologie

*Ontologie* ist ursprünglich ein Terminus aus der Philosophie. Er bezeichnet die Lehre vom Sein – genauer von den Möglichkeiten und Bedingungen des Seienden, ist also eng verwandt mit der Erkenntnistheorie, die sich mit den Möglichkeiten und Grenzen menschlichen Wahrnehmens und Erkennens auseinandersetzt [HM08]. Die Informatik hat den Terminus adaptiert, hier stehen jedoch andere Fragen im Vordergrund. Es handelt sich dabei um ein semantisches Datenmodell, welches das Wissen einer Domäne explizit und exakt formuliert und standardisiert beschreibt. Eine *Ontologie* ist ein Wissensmodell mit hoher semantischer Reichhaltigkeit und ist demnach eine

- *formale* im Sinne einer Lesbarkeit und Verarbeitbarkeit durch den Computer,
- *explizite* im Sinne einer ausdrücklichen Definition von Begriffsarten und der Einschränkungen für ihre Verwendung,
- Spezifikation einer *geteilten* im Sinne der Modellierung eines allgemein akzeptierten Wissens
- *Konzeptualisierung* im Sinne einer abstrakten Modellierung eines Phänomens durch Identifikation der relevanten Termini und den zwischen ihnen bestehenden Relationen [Wor08].

Ontologien stellen eine mächtige, allgemeine Form der Wissensrepräsentation dar, die im Wesentlichen auf semantischen Netzen beruht und diese in einigen Punkten erweitert. Ontologien ergänzen die semantischen Zusammenhänge zwischen einzelnen Termini um Integritäts- und Inferenzregeln, die eine Verknüpfung von Aussagen mittels der Aussagenlogik ermöglichen. Ein auf diese Art fixiertes Wissen ist für die künstliche Intelligenz verarbeitbar. Ontologien spielen in Bezug auf die Modellierung spezifischer Fachdomänen als



Organisationsform fachsprachlicher Konzepte eine wichtige Rolle.

## 5 Formalisierung und Instanziierung generischer Modellkonzepte

In diesem Kapitel werden die Modellkonzepte formalisiert und instanziiert, welche für die im weiteren Verlauf der Arbeit vorgenommene fachsprachliche Bedeutungsfestlegung notwendig sind.

In Abschnitt 5.1 wird das Modellkonzept des Systems auf der Basis der zuvor definierten terminologischen Grundlage erörtert und hinsichtlich seiner semantischen Relationen differenziert. Dieses dient später der terminologischen Klärung der Termini der Verlässlichkeit technischer Systeme.

Das Modellkonzept der Funktionsimplementierung wird in Abschnitt 5.2 eingeführt und ergänzt das zuvor dargestellte Modellkonzept des Systems. Das Paradigma der Modellorientierung ermöglicht, die Funktion von ihrer gerätetechnischen Implementierung zu separieren. Diese gedankliche Trennung ist für die terminologische Klärung der Verlässlichkeit hilfreich, da die zuverlässige Erfüllung einer Funktion von der Zuverlässigkeit ihrer (gerätetechnischen) Funktionsträger bestimmt wird.

Die in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Modellkonzepte des Systems sowie der Funktions- und Ressourcenallokation werden in Abschnitt 5.3 integriert und beispielhaft für ein leittechnisches System instanziiert.

### 5.1 Modellkonzept des Systems

Die Systemtheorie nutzt das Modellkonzept des *Systems* als interdisziplinäres Erklärungsmodell. Dieses Modellkonzept findet in der Naturwissenschaft (Neurobiologie [MV98]), der Ingenieurwissenschaft (Systemtheorie der Regelungs- und Nachrichtentechnik [Wie71]), den Wirtschaftswissenschaften (Unternehmensführung [Mal06]) sowie in den Sozialwissenschaften [Luh08] gleichermaßen Anwendung [Ber69]. Unterschiedliche, aber doch vergleichbare und deshalb mit kumulativen Effekt kombinierbare und verwertbare Systemkonzepte sind zu einem wesentlichen und integrativen Faktor der sich immer weiter in Teildisziplinen verzweigenden Wissenschaft geworden [Ber69][Wil00].

#### 5.1.1 Definition und Systemeigenschaften

Der Terminus *System* bezeichnet ein „Aggregat von Objekten und Beziehungen zwischen den Objekten und ihren Merkmalen“ [WBJ69]. Damit rekurriert das Modellkonzept des Systems explizit auf das zuvor dargestellte Modellkonzept des Terminus. Unter Objekten werden hierbei die Bestandteile des Systems verstanden. Sie werden durch ihre Merkmale näher bestimmt. Die Beziehungen gewährleisten den Zusammenhalt des Systems.

Der Terminus *System* repräsentiert selbst ein komplexes Terminologiegebäude. Im Detail betrachtet weist ein System einen gewissen Grad an Komplexität im Sinne allgemeiner Systemeigenschaften auf. Auf jeder hierarchischen Betrachtungs-ebene eines System können

diese somit nach [Sch99] durch die zentralen Eigenschaften *Zustand*, *Struktur*, *Funktion* und *Verhalten* beschrieben werden, die untereinander vielfältige Beziehungen aufweisen.

- Das System hat einen *Zustand*. Der momentane Zustand eines Systems kann durch eine Menge an Zustandsgrößen, wie die Angabe der Werte aller konstanten oder variablen Attribute, eindeutig beschrieben werden. Sie beschreiben zu einem gegebenen Zeitpunkt und Ort die stofflichen, energetischen und informatorischen Eigenschaften, Merkmale, Größen und Werte des Systems.
- Das System hat eine *Funktion*. Die Zustandsmengen der Eingangsgrößen werden durch die Funktionen des Systems in die Zustandsmengen der Ausgangsgrößen (Stoff, Energie, Information) überführt. Die Funktion wird zum Teil von mehreren Unterfunktionsbausteinen (Speicherung, Übertragung, Verarbeitung) erfüllt, die zu einem System vernetzt sind (Dekompositionsprinzip). Diese untergeordneten Funktionsbausteine erfüllen nicht jeweils einzeln den Gesamtzweck.
- Das System hat eine *Struktur*. Es besteht aus einer Menge von Teilen, die untereinander und mit der Systemumgebung in wechselseitiger Beziehung stehen. Der Terminus *Struktur* bezeichnet nach [DIN94a] die Gesamtheit der Relationen zwischen den Teilen eines Ganzen. Dem Dekompositionsprinzip folgend können die Aspekte der Struktur bezüglich der unterschiedlichen Abstraktionsniveaus (Hierarchieebenen) in intersystemische Relationen und intrasystemische Relationen differenziert werden. Zwischen den Systemen verlaufen intersystemische Relationen. Die Relationen zwischen Elementen eines Systems sind intrasystemischer Art.
- Das System hat ein *Verhalten*. Dynamische Zustandsänderungen bestimmen das beobachtbare Systemverhalten, das sich durch eine logische Reihenfolge (Kausalität) und eine zeitliche Abfolge (Temporalität) von Zustandsübergängen entsprechend der Systemfunktionen beschreiben lässt. Das Verhalten eines Systems ergibt sich somit aus der Zuordnung verschiedener Zustände zum Zeitverlauf.

Die allgemeinen Eigenschaften von Systemen sind in Abbildung 5-1 dargestellt:

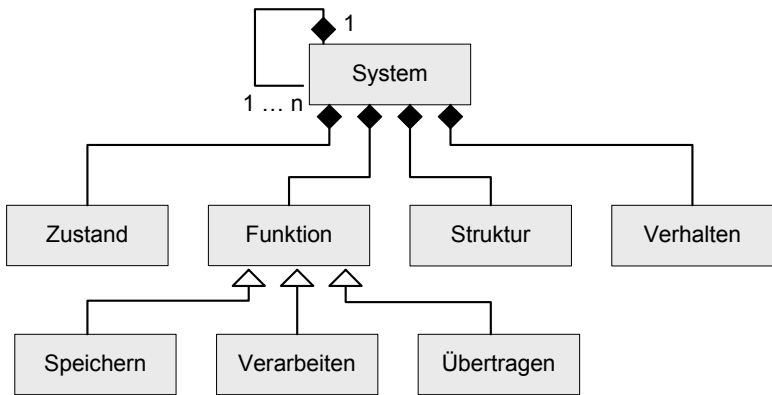


Abbildung 5-1: Eigenschaften des Systems

### 5.1.2 Abstraktionshierarchie des Systems – Selbstähnlichkeit

Systeme stehen in einer Abstraktionshierarchie. Sie bestehen aus einer Menge von Teilen, die ihrerseits wieder in eine Anzahl Unterteile zerlegt werden können, die in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen. Im Detail weisen die Unterteile wiederum eine gewisse Komplexität im Sinne der zuvor dargestellten allgemeinen Systemeigenschaften auf. So gibt es aus der Sicht eines (Bezugs-)Systems immer ein übergeordnetes System und ein oder mehrere untergeordnete Systeme. Das Bezugssystem kann seinerseits selbst als übergeordnetes System eigener untergeordneter Systeme betrachtet werden. Ausgehend vom Bezugssystem entsteht eine beliebige Anzahl von Ebenen, in der jedes System nur gegenüber einem einzigen anderen als Untersystem bezeichnet werden kann. Auf diese Weise wird ein transitives Verhältnis des Enthaltenseins zwischen den Systemen beschrieben, wobei die Ebenenzahl vom möglichen oder gewünschten Detaillierungsgrad einer Untersuchung abhängt. Während die Bildung weiterer Untersysteme als zusätzliche Detaillierung zu verstehen ist, kann im Sinne einer abstrahierenden Vergrößerung auch die Zusammenfassung mehrerer Untersysteme zu einem einzigen übergeordneten System durchgeführt werden. Auf jeder Betrachtungsebene treten die gleichen Systemeigenschaften (vgl. Abschnitt 5.1.1) auf, so dass von einer Selbstähnlichkeit des System-Modellkonzepts gesprochen werden kann.

Das Verhältnis zwischen dem (Bezugs-)System und dem übergeordneten System konstituiert den Terminus *Umwelt*. Für ein gegebenens System ist die Umwelt die Summe aller Objekte, deren Veränderung das System beeinflusst (Umwelteinwirkung), sowie jener Objekte, deren Merkmale durch das Verhalten des Systems verändert werden (Umweltauswirkung). Die Systemgrenze ist die Grenze über die das betrachtete System Materie, Energie und Informationen mit seiner Umwelt austauschen kann (Systemeingangs- und -ausgangsgrößen). Die Umwelt ist selbst wiederum ein System. Bezüglich ihrer Interaktion mit der Umwelt können Systeme in offene und geschlossene System unterteilt werden. In offenen Systemen findet ein Austausch mit der Umwelt statt, in geschlossenen Systemen nicht.

Die Abstraktionshierarchie des Systems ist in Abbildung 5-2 dargestellt. Der Terminus *Emergenz* wird in den folgenden Ausführungen erläutert.

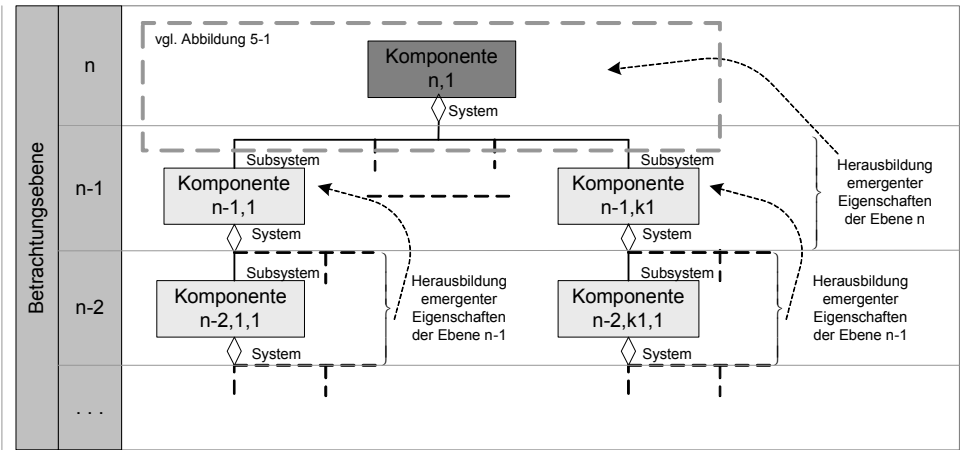


Abbildung 5-2: Strukturelle Selbstähnlichkeit von Systemen

5.1.3 Emergenz

Sobald sich ein offenes und komplexes System durch Kombination seiner Teile bildet, entstehen in der Realität durch die Wechselwirkungen Eigenschaften, die zuvor nicht beobachtbar waren und die auch nicht aus den Eigenschaften ihrer bislang isolierten Teilsysteme heraus erklärbar sind [Ves02]. Dieses Phänomen bezeichnet die Systemtheorie als *Emergenz* [Ber69][Wil00].

In Ergänzung zu den zuvor dargestellten Eigenschaften nach [Sch99] werden diese daher in elementare und emergente Eigenschaften unterteilt.

- *Elementare Eigenschaften* eines Systems sind sein *Zustand* im Sinne der zu einem gegebenen Zeitpunkt vorhandenen physikalischen und informatorischen Eigenschaften, Merkmale, Größen und Werte sowie seine *Funktion* im Sinne einer Abbildungsvorschrift, welche Zustandsmengen der Eingangsgrößen in Zustandsmengen der Ausgangsgrößen überführt.
- *Emergente Eigenschaften* bezeichnen Systemeigenschaften, insbesondere Verhaltensweisen, die neu und charakteristisch für das Gesamtsystem sind. Diese Eigenschaften sind nicht den Elementen zuzurechnen, sondern der bestimmten selektiven Verknüpfung (Struktur) der Elemente im Kontext des Systems [Wil00]. Die Emergenz korrespondiert eng mit der zuvor dargestellten Rekursivität des Systems der seinen Ausdruck in der selbstähnlichen Systemhierarchie findet. Die unterschiedlichen hierarchischen Ebenen können somit als Emergenzniveaus interpretiert werden [Wil00][Lev95].

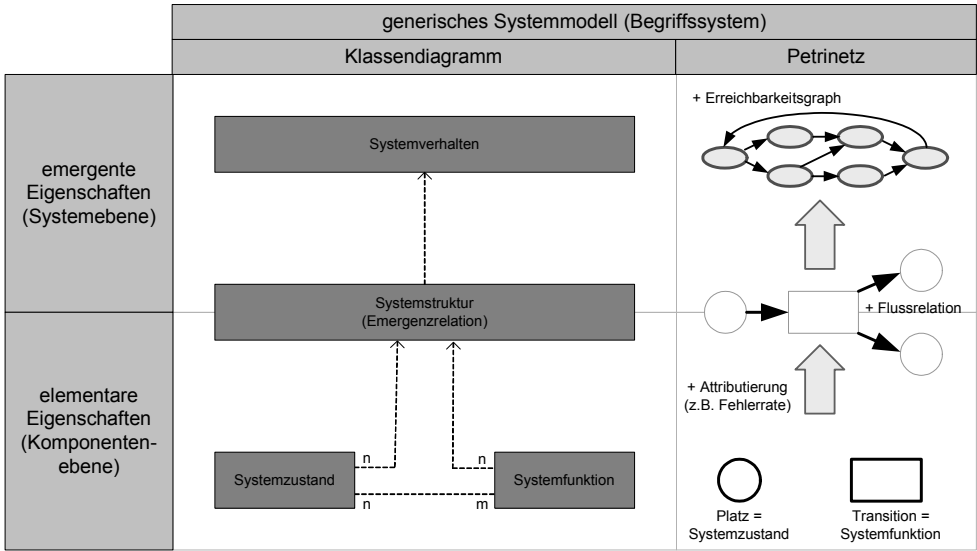


Abbildung 5-3: Instanziierung des Modellkonzepts des Systems in formaler Darstellung

Der Terminus *Emergenzrelation* lässt sich durch die Systemstruktur erklären, welche sich als Aufbau-, bzw. Ressourcenstruktur sowie als Ablauf- oder Funktionsstruktur darstellt. Der Terminus *Prozess* beschreibt den dynamischen Aspekt der Emergenzrelation. Als Prozess wird die Teilmenge der Änderungen des Systems von einem bestimmten Initial- oder Vorzustand

in einen Folge- oder Nachzustand bezeichnet. Der Prozess umfasst also nur die Menge der Funktionen und Zustände, die in kausaler Beziehung zueinander stehen. Die Aspekte der Aufbau- und Ressourcenstruktur, welche die Ablauf- und Funktionsstruktur bedingen, werden im folgenden Abschnitt 5.1.3 im Zusammenhang mit dem Modellkonzept der Funktions- und Ressourcenallokation erläutert.

Die mit dem Modellkonzept des Systems assoziierten dynamischen und strukturellen Eigenschaften von Systemen werden mit ihrer Differenzierung in elementare und emergente Eigenschaften in Abbildung 5-3 gezeigt.

### Modellierung von Emergenzniveaus in UML-Klassendiagrammen

Nachdem der Terminus *Emergenz* eingeführt worden ist, kann dieser um die Sicht der Abstraktionshierarchie (vgl. Abbildung 5-2) ergänzt werden. In Abbildung 5-3 ist bereits angedeutet, dass die elementaren Eigenschaften (Zustände und Funktionen) der untergeordneten Systeme durch ihr Zusammenwirken im Rahmen der Systemstruktur das Verhalten der übergeordneten Systemebene bestimmen. In Abbildung 5-4 wird deutlich, dass die Kopplung der beiden Systeme über „mehr“ Struktur geschieht. Denkbar ist hierbei die Verknüpfung in einer linearen Struktur (Steuerkette) oder einer Struktur mit Rückführung (Regelkreis). Hier zeigt sich, dass durch grundlegende Eigenschaften und die Systemstruktur das emergente Verhalten eines Systems (beispielsweise die wirkungsvolle Stabilisierung kritischer Prozesse) beeinflusst wird.

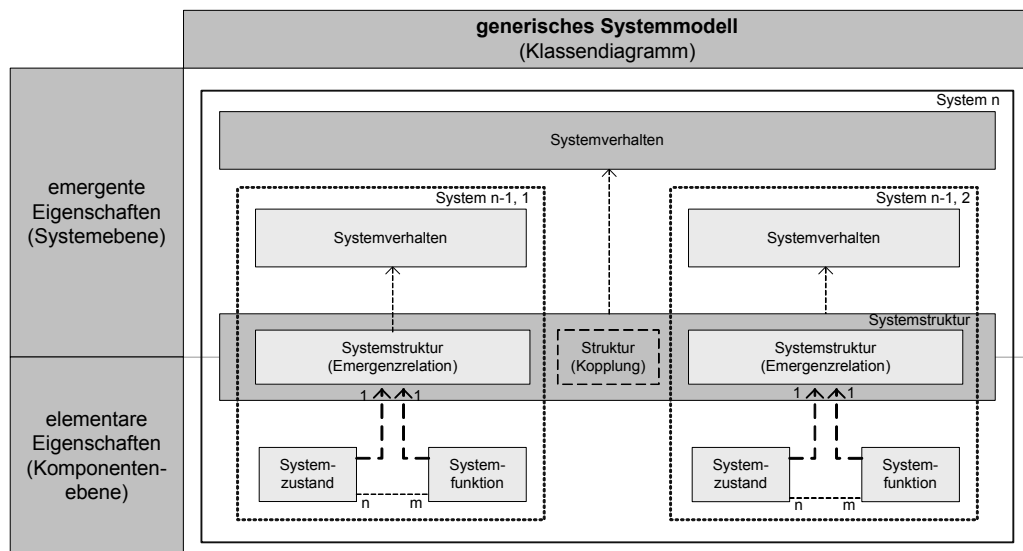


Abbildung 5-4: Emergenz im Kontext der Abstraktionshierarchie von Systemen (Klassendiagramm)

### Modellierung von Emergenzniveaus in Petrinetzen

Bereits in den Ausführungen zum Formalisierungskonzept ist auf den Erreichbarkeitsgraphen als Menge aller von einer Anfangsmarkierung eines Petrinetzes aus erreichbaren Markierungen und schaltbaren Transitionen eingegangen worden (vgl. Abschnitt 3.3.2). Die vollständige Dynamik und somit das Verhalten eines Teilsystems wird durch die zugehörigen

Erreichbarkeitsgraphen explizit ausgedrückt.

Im Rahmen der Systemsynthese im Verlauf des Systementwurfs geht es darum, ausgehend von einem definierten Ausgangszustand einen Zustand oder mehrere Zustände in gegebenenfalls vorgegebener Reihenfolge zu erreichen oder zu vermeiden. Darin enthalten sind vollständige oder unvollständige (Global-)Zustandstrajektorien oder -zyklen. Bei Petrinetzmodellen ergeben sich die Trajektorien als Pfade des Erreichbarkeitsgraphen mit einer dem Anfangszustand entsprechenden Markierung. Die gewünschten oder zu vermeidenden Trajektorien können durch die *Struktur* der Steuerung wesentlich beeinflusst werden und somit aus dem Potenzial aller Zustandstrajektorien durch entsprechende Eingriffe der Steuerung die gewünschten selektiert werden [Obe99][Sch99]. In Abbildung 5-5 wird anhand der Petrinetzdarstellung gezeigt, wie durch Strukturvariation auf einem unteren Emergenzniveau das Verhalten auf einem höheren Emergenzniveau beeinflusst wird. Dies äußert sich beispielsweise in der zuvor beschriebenen Selektion der gewünschten (Global-)Zustandstrajektorie.

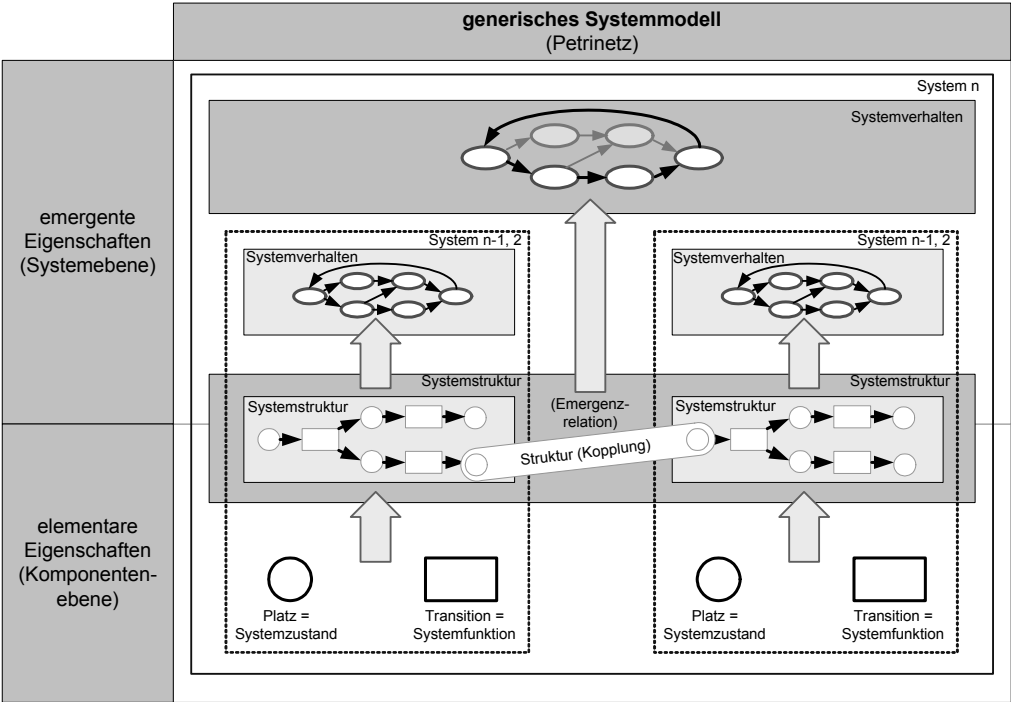


Abbildung 5-5: Emergenz im Kontext der Abstraktionshierarchie von Systemen (Petrinetz)

5.2 Funktions- und Ressourcenallokation

Die abstrakte Sicht der Systemtheorie muss für den Gegenstandsbereich technischer Systeme um (gerätetechnische) Ressourcen ergänzt werden. Diese stellen eine Instanziierung der abstrakten systemtheoretischen Sicht dar. Im Rahmen der Entwicklung konkreter technischer Systeme müssen Entscheidungen darüber getroffen werden, wie die Funktionen des Systems den verfügbaren Funktionsträgern (Ressourcen) zugeordnet werden. Dies wird mit der Fragestellung der Allokation und Partitionierung in diesem Abschnitt behandelt.

### 5.2.1 Der Ressourcenbegriff

Reale (technische) Systeme können als Instanziierung von Funktionen durch Ressourcen beschrieben werden. Ressourcen sind somit physikalische Repräsentationen von Systemen.

- Der Terminus *Funktion* bezeichnet eine lösungsneutral beschriebene Beziehung zwischen Eingangs-, Ausgangs- und Speichergrößen eines Systems [VDI93]. Funktionen überführen stoffliche, energetische und informatorische Eingangsgrößen unter Berücksichtigung von Parametern in Ausgangsgrößen (Stoff, Energie, Information). Um diesen Zweck der stofflichen, energetischen oder informationellen Transformation tatsächlich ausführen zu können, werden physikalische *Ressourcen* benötigt.
- Der Terminus *Ressource* bezeichnet die Mittel, welche für die Lösung einer bestimmten Aufgabe benötigt werden. Die Fähigkeit eines Systems oder seiner Komponenten, als Mittel zur Realisierung der Funktionen zu dienen, wird als Funktionalität bezeichnet [Ste99].

Im Rahmen der Systementwicklung müssen die anwendungsbezogenen Funktionen auf die zu ihrer Lösung vorhandenen (technischen) Ressourcen abgebildet werden. Dies ist eine anspruchsvolle Optimierungsaufgabe. Da Funktionen um knappe technische Ressourcen konkurrieren, erwachsen hieraus wesentliche Aufgaben:

- Die Zuordnung einzelner Prozesse zu Geräteeinheiten muss bekannt sein, da diese die externen Schnittstellen eines Kommunikationssystems darstellen. Die Zuordnung der Funktionen zu den unterschiedlichen Geräteeinheiten bestimmt in großem Maße das Datenaufkommen für die Übertragungsressource. Nachrichten in verteilten Systemen können zwar parallel übertragen werden, stehen jedoch im Konflikt um Ressourcen, wenn die Übertragung auf derselben Kommunikationsressource erfolgt.
- Die zeitliche und logische Verknüpfung aller Einzelaufgaben einer Prozesssteuerung liefert die Organisationsstruktur der gesamten Prozesssteuerung und damit einen Anhaltspunkt für die Bemessung der Verarbeitungsressourcen. Nebenläufig zueinander ausführbare Funktionen stehen also potenziell im Konflikt um die Abarbeitungsressource, wenn sie auf dieselbe Abarbeitungsressource alloziert werden.

Bezüglich der Direktionalität der Zuordnungsbeziehung wird zwischen den Termini *Allokation* und *Partitionierung* unterschieden.

### 5.2.2 Allokation

Der Terminus *Allokation* beschreibt eine Relation. Er bezeichnet die einseitig gerichtete Zuordnung von Ressourcen auf Funktionen. Darüber hinaus können auch Anforderungen Einheiten zugeordnet werden. Dies ist der Fall in [IEC03], welche die Allokation als „procedure applied during the design of an item intended to apportion the requirements for performance measures for an item to its sub-items according to given criteria“ bezeichnet. Wird diese Zuordnung rückgängig gemacht spricht man auch von einer Deallokation. Diese Relation zwischen Funktionen und Ressourcen technischer Systeme kann wie folgt durch Eigenschaften und Merkmale näher differenziert werden:



Nach dem *Zeitpunkt der Zuordnung* kann die Allokation unterschieden werden in:

- *Statische Allokation* bezeichnet den Umstand, dass die Zuordnung von Ressourcen zu Funktionen vor Inbetriebnahme geschieht [IEE90].
- *Dynamische Allokation* bezeichnet den Umstand, dass die Zuordnung von Ressourcen zu Funktionen während des Betriebs geschieht [IEE90].

Nach der *Zuteilungsstrategie* kann die Allokation unterschieden werden in:

- *Deterministische Allokation* bezeichnet den Umstand, dass eine Ressource für eine bestimmte Aktivität reserviert wird [ISO/IEC 13236].
- *Stochastische Allokation* bezeichnet den Umstand, dass eine Ressource von verschiedenen Aktivitäten beansprucht wird unter der Voraussetzung, dass mit einer hinreichend großen Wahrscheinlichkeit alle Anforderungen bedient werden können.

Nach der *Kardinalität der Zuordnungsbeziehung* kann die Allokation unterschieden werden in:

- *Exklusiver Zugriff* bezeichnet den Umstand, dass eine Ressource nicht mit anderen Prozessen geteilt wird.
- *Mehrfachzugriff* bezeichnet den Umstand, dass mehrere Teilnehmer auf eine Ressource zugreifen.

### 5.2.3 Partitionierung

Im Gegensatz zu der zuvor dargestellten Relation der Allokation bezeichnet der Terminus *Partitionierung* das Aufteilen eines Systems auf mehrere Einheiten (Module). Sie umfasst funktionale, räumliche und technologische Aspekte:

- *Funktionale Partitionierung*: „Unter der funktionalen Partitionierung eines [...] Systems wird die Zuordnung einer Funktion oder Gruppe von Funktionen des Systems auf mehrere Einheiten/Module verstanden.“ (Definition in Anlehnung an [Jan06]).
- *Räumliche Partitionierung*: Die räumliche Partitionierung „umfasst die geometrische Anordnung und bauliche Gruppierung von Systemelementen innerhalb eines Systems“ (Definition in Anlehnung an [Jan06]).
- *Technologische Partitionierung*: „Aufteilen eines Systems in einen Teil, der in Hardware und einen Teil der in Software implementiert wird“ (Definition in Anlehnung an [VDI04]).

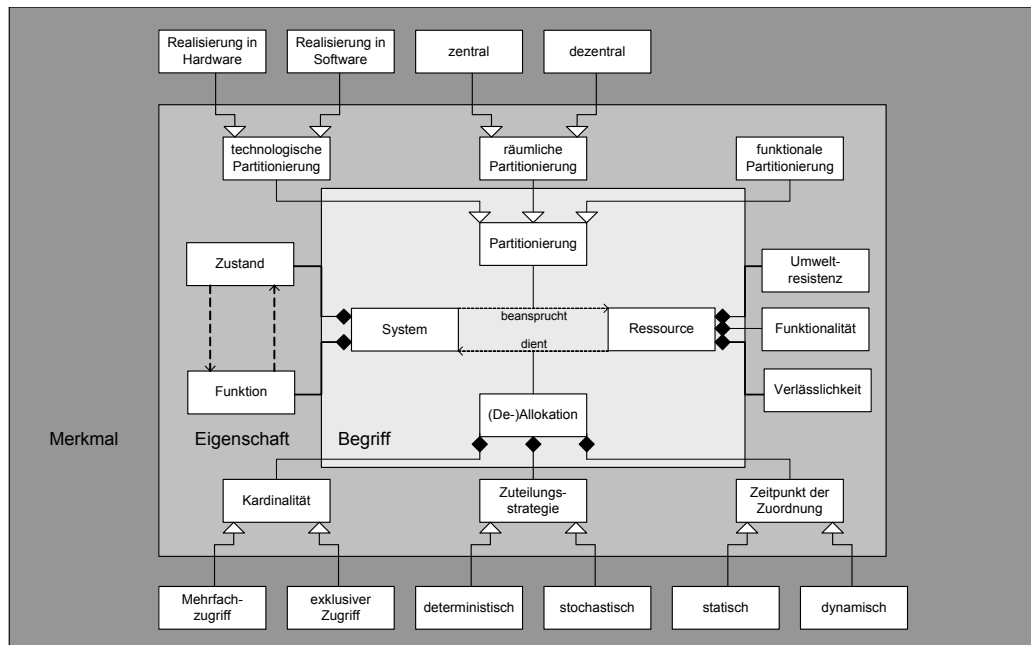


Abbildung 5-6: Ansatz eines Terminologiegebäudes für die Allokation und Partitionierung

### 5.2.4 Konfiguration

Konfigurieren ist das Zusammensetzen technischer Systeme aus vorgegebenen technologieinvarianten Funktionseinheiten und anwendungsunabhängigen Ressourcen. Das Ergebnis ist die Systemkonfiguration, wobei gegebenenfalls eine Ressource mehrere Funktionseinheiten verwirklichen kann.

Das *Anforderungsprofil der Funktion* (vgl. Abbildung 5-7 links oben) ist die Beschreibung von vorausgesetzten oder gewünschten Attributen (Eigenschaften, Merkmalen, Größen und Werte). Die Begründung für Anforderungsprofile ergibt sich aus Verwendungszwecken und Umweltbedingungen, in denen das technische System eingesetzt werden soll. Da im Lebenslauf des technischen Systems eventuell neue Funktionen realisiert werden, ist die Anzahl und Ausprägung der Attribute, die eine Funktion beschreiben über die Zeit variabel [Ste99].

Die *Funktionalität der (technischen) Ressource* bezeichnet ihre Fähigkeit, eine bestimmte Funktion oder Gruppe von Funktionen zu erfüllen. Diese abstrakte Eigenschaft kann analog zum Anforderungsprofil durch spezifische Merkmale, Größen und Werte attribuiert werden (vgl. Abbildung 5-7 rechts oben). Da im Lebenslauf eines technischen Systems Funktionen auf neuen Ressourcen implementiert werden, sind auch in diesem Fall die Attribute, die eine Ressource beschreiben, über die Zeit variabel [Ste99].

Der *Grad der Funktionserfüllung* (vgl. Abbildung 5-7 unten) kann durch eine vergleichende Gegenüberstellung von Funktionen und der für deren Lösung verfügbaren Funktionalität visualisiert werden. Auf der Grundlage der vergleichenden Gegenüberstellung von Funktionen und Ressourcen auf der Basis von Attributen können fünf verschiedene Ausprägungen der Funktionsabdeckung identifiziert werden:

- Die Funktionalität für die Erfüllung der Teilaufgabe ist vorhanden. Die Ausprägung

- entspricht jedoch nicht exakt den Anforderungen. In diesem Fall sind ein Toleranzband oder ein Grenzwert hilfreich.
- Die Funktionalität der Ressource übersteigt in diesem Bereich die Anforderungen. Die Funktionserfüllung ist hier gegeben, jedoch ist in einem solchen Fall zu bewerten, was die nicht notwendige Funktionalität für den Anwendungsfall bedeutet – nicht notwendiger Ballast oder Funktionalitätsreserve.
  - Bei den Anforderungen an diese Eigenschaft entspricht die Ressource mit ihrer Funktionalität genau der Aufgabenstellung.
  - In diesem Bereich besteht ein Leistungsdefizit der betreffenden Ressource. Die betrachtete (Teil-)Funktion kann nicht erfüllt werden.
  - Hier sind Attribute vorhanden, die für die Erfüllung der Aufgabe nicht benötigt werden. Nicht genutztes Potenzial bedeutet aber auch nicht notwendige Kosten und nicht nötiger Pflege- und Wartungsaufwand. Aus Sicht eines Systems können solche Eigenschaften auch indirekte potenzielle Fehlerquellen darstellen.

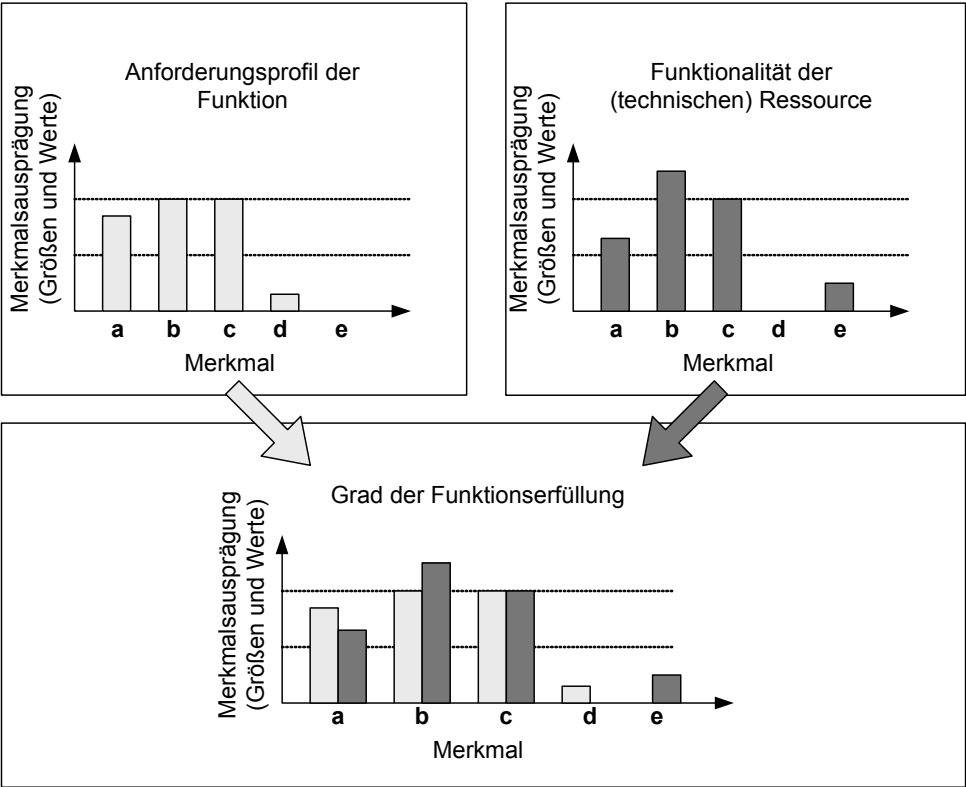


Abbildung 5-7: Gegenüberstellung von Funktion und Ressource auf der Basis von Attributen

### 5.3 Instanziierung leittechnischer Systeme

Ein leittechnisches System kann auf der Basis der zuvor abstrakt dargestellten Modellkonzepte des Systems sowie der Funktions- und Ressourcenallokation instanziiert werden. In diesem Abschnitt wird daher

- eine funktionale Dekomposition eines Eisenbahnleit- und -sicherungssystems

vorgenommen und Funktionseinheiten nach ihrer Aufgabe oder Wirkung abgegrenzt,

- eine Übersicht generischer Verarbeitungsressourcen für Eisenbahnleit- und -sicherungssysteme mit ihren Eigenschaften, Größen und Werten dargestellt und diese generische Merkmalsstruktur für gerätetechnische Funktionsträger für die sicheren Prozessrechner aus dem Hause Siemens exemplarisch instanziiert sowie
- die beiden Aspekte der Funktionen und gerätetechnischen Ressourcen anhand des Beispiels der Stellwerkstechnik integriert. Es werden somit exemplarisch Eisenbahnleit- und -sicherungssysteme aus vorgegebenen Funktionseinheiten und Verarbeitungsressourcen konfiguriert.

### 5.3.1 Dekomposition technologieinvarianter Sicherungsfunktionen

Nach [DIN00a] ist das Ziel eines Bahnsystems die Bereitstellung einer bestimmten Ausprägung des Schienenverkehrs, der fahrplangemäß und sicher ist. Hierbei handelt es sich um zwei Merkmale der emergenten Systemeigenschaft „Qualität“, welche erst auf der Makroebene des Systems durch das Zusammenwirken untergeordneter Systemelemente zustande kommt. Um einen im Sinne der festgelegten Ziele erwünschten Ablauf des Verkehrsprozesses zu bewirken, wird dieser unter Mitwirkung des Menschen aufgrund der aus dem Prozess heraus erhaltenen Daten mit Hilfe von Leiteinrichtungen beeinflusst (vgl. [DIN01b]). Da die Qualität als emergente Eigenschaft einen Prozess charakterisiert, der auf die Ortsveränderung von Personen und Gütern zielt, ist in einer weiteren Betrachtungsebene eine *funktionale Dekomposition* in die Gegenstandsbereiche Fahrwegsteuerung und Fahrwegsicherung notwendig. Innerhalb dieser Bereiche liegen geschlossene Wirkungsketten vor. Diese funktionalen Elemente können jeweils weiter dekomponiert und die kausalen Zusammenhänge verdeutlicht werden (beispielsweise durch Melde- und Kommandowege).

Auf die zur Erreichung der Ziele erforderlichen physikalischen Mittel wird zu diesem Zeitpunkt nicht eingegangen, um eine Übertragbarkeit und allgemeine Anwendbarkeit zu erhalten. Für ein Stellwerkssystem lassen sich abstrakte und daher technologieinvariante Funktionsschwerpunkte identifizieren, die in [SS07], [Mue07], [Mey04], [Mas09] und [Zoe02] ausführlich dargestellt sind.

### 5.3.2 Strukturierung anwendungsunabhängiger Ressourcen

Gerätetechnische Grundlage elektronischer Sicherungssysteme für Bahnanwendungen sind frei programmierbare, sichere Rechner, so genannte Rechnerkerne. Als anwendungsunabhängige Rechnerplattformen gestatten sie es, Eingangsinformationen in vorgegebener Weise sicher zu Ausgangsinformationen zu verarbeiten. Die Strukturierung der vorhandenen generischen Ressourcen bedingt das Festlegen von Beziehungen nach vorzugebenden Kriterien. Ihre Differenzierung erfolgt durch Eigenschaften, Merkmale, Größen und Werte. Diese Attribute können dem metasprachlichen Modell des Terminus folgend ausdifferenziert werden. An die Verarbeitungsressourcen werden zunächst funktionale Anforderungen gestellt, die beschreiben, welche Aufgaben das betrachtete System hat und welche Verarbeitungsschritte es ausführt [IEE90]. Im Verlauf einer stetigen Verfeinerung im Entwurfsprozess werden diese funktionalen Eigenschaften durch die sie konkretisierenden Merkmale näher beschrieben und ihnen die sie konkretisierenden

Ausprägungen als Größe und Werte zugeordnet. Die generischen Verarbeitungsressourcen (Plattformen) werden mit ihren spezifischen Eigenschaften und Merkmalen (z.B. Größe des Arbeitsspeichers oder Taktfrequenz) und den für ihre Bemessung maßgeblichen Umwelteinflüssen vorgestellt.

Die für sicherungstechnische Anwendungen eingesetzten Rechnerplattformen unterscheiden sich zunächst hinsichtlich ihrer als *Funktionalität* bezeichneten Fähigkeit, als Mittel zur Realisierung der Funktionen zu dienen [Ste99]. Die zunächst abstrakte Eigenschaft der Funktionalität einer Ressource kann durch das Merkmal der verfügbaren Rechenleistung konkretisiert werden, welche durch die Größen der Busbreite und der Taktrate näher beschrieben wird. Die Busbreite ist eine Angabe darüber, wie viele Informationen parallel an den Prozessor übertragen und von diesem verarbeitet werden können. Sie wird in der Einheit Bit angegeben. Die Taktrate ist eine Angabe darüber, mit welcher Geschwindigkeit der Prozessor die Informationen verarbeitet. Sie wird in der Regel in der Einheit Hertz angegeben. In Tabelle 5-1 sind die konkreten Werte für diese Größen für die verschiedenen Generationen sicherer Prozessrechner der Siemens AG tabellarisch aufgeführt.

1979198319872001

Zeitachse

Generationsfolge sicherer Rechner für Bahnanwendungen

Eigenschaft	Merkmal	Größe	Simis® B	Simis® C	Simis® 3216	Simis® ECC
Funktionalität	verfügbare Rechenleistung	Busbreite	8 bit	8 bit	16 bit / 32 bit	32 bit
		Taktrate	1 MHz	2 MHz	10 MHz / 25 MHz	40 MHz
Implementierungsansatz	Programmierparadigma	(qualitatives Merkmal)	imperativ (prozedural)	imperativ (prozedural)	imperativ (prozedural)	imperativ (objektorientiert)
	Programmiersprache	(qualitatives Merkmal)	maschinenorientierte Sprache (Assembler)	maschinenorientierte Sprache (Assembler)	imperative Sprache (Pascal)	objektorientierte Sprache (C++)
Struktur der Ressource	Redundanzprinzip	(qualitatives Merkmal)	2-von-2	2-von-2	2-von-3	2-von-3

Simis® = **S**icheres **M**icrocomputersystem von **S**iemens  
Simis® B = Simis® **B**asissystem  
Simis® C = Simis® **C**ompactsystem  
Simis® ECC = Simis® **E**lement **C**ontrol **C**omputer

Tabelle 5-1: Sichere Rechner der Siemens AG für Bahnanwendungen

Neben den technischen Parametern der eingesetzten Prozessorbasis und die von ihr beeinflusste Eigenschaft der Funktionalität unterscheiden sich die eingesetzten Rechner hinsichtlich des zu Grunde liegenden *Implementierungsansatzes*, der durch die Merkmale des Programmierparadigmas und damit zusammenhängend der verwendeten Programmiersprache näher beschrieben wird. Ein Programmierparadigma beschreibt den grundlegenden Ansatz, wie Computer durch Programmierung gesteuert werden können. Das imperative Paradigma fasst ein Programm als Folge elementarer Schritte auf. Die imperative Programmierung kann in eine prozedurale Programmierung, in der stark vorgehensorientiert in einzelnen aufeinanderfolgenden Anweisungen codiert wird, und eine objektorientierte Programmierung, welche die prozedurale Programmierung durch zusätzliche Sprachmittel erweitert, differenziert werden. Das Programm besteht nunmehr aus kooperierenden und interagierenden Elementen. Das prozedurale Programmierparadigma drückte sich zunächst in

den maschinenorientierten Sprachen (Assembler-Programmierung) aus. Hierbei erwies sich jedoch zum einen das Testen der Programme als sehr aufwändig und zum anderen die Portierbarkeit auf andere Prozessoren als schwierig, da abhängig vom Prozessor verschiedene Sprachnotationen zu berücksichtigen waren. In der Folge wurden daher im nächsten Schritt imperative Programmiersprachen (Pascal) verwendet, welche sich zunächst durch eine Plattformunabhängigkeit auszeichneten, sich jedoch hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit der Software als nachteilig erwiesen. Mit dem Übergang zu objektorientierten Programmiersprachen (beispielsweise die Sprache C++) wurde dieser Nachteil ausgeglichen.

Die *Struktur* einer technischen Ressource ist für die im weiteren Verlauf der Arbeit betrachtete Verlässlichkeit technischer Systeme von großer Bedeutung. Zum einen beruhen die Maßnahmen zum Erreichen eines korrekten Ergebnisses und damit der *Sicherheit* in der Regel auf mehrfacher Informationsverarbeitung mit anschließendem Vergleich. Zum anderen wird die Fähigkeit eines technischen Systems die von ihm geforderte Funktion zu erfüllen durch zusätzliche vorhandene Rechnerkanäle zusätzlich beeinflusst. Eine technische Ressource ist demnach auch dann noch zur sicheren Informationsverarbeitung in der Lage, wenn beispielsweise bei einem 2-von-3-System eine von drei Einheiten ausgefallen ist.

Eigenschaften	Merkmale	Größenwert		
		Maßeinheit		Zahlenwert
		Benennung	Symbol	
klimatische Umweltbedingungen	Feuchtigkeitswiderstandsfähigkeit	min. relative Feuchte	%	5
		max. relative Feuchte	%	85
		min. absolute Feuchte	g/m <sup>3</sup>	85
		max. absolute Feuchte	g/m <sup>3</sup>	85
	Temperaturfestigkeit	min. Umgebungstemperatur	°C	-25
		max. Umgebungstemperatur	°C	+60
	Temperaturschockbeständigkeit	Temperaturänderungsrate	°K/min	0,5
	Lichtwiderstandsfähigkeit	Bestrahlungsstärke	W/m <sup>2</sup>	700
	...	...	...	...
	...	...	...	...
mechanische Umweltbedingungen	Druckfestigkeit	max. Druck	kPa	5
	Berührungs- und Fremdkörperschutz	Durchmesser des Objekts	mm	1
		Frequenzbereich	Hz	2-9
	Rüttelfestigkeit	Schwingungsamplitude	mm	1,5
		Frequenzbereich	Hz	9-200
		Schwingungsamplitude	m/sec <sup>2</sup>	5
		Beanspruchungsdauer	h	...
	Stoßfestigkeit	...	...	...
	...	...	...	...
	...	...	...	...
elektromagnetische Umweltbedingungen	Festigkeit gegen elektrostatische Entladungen	Spannung	V ...	6
	Störfestigkeit gegen elektromagnetische Felder	Elektrische Feldstärke	V/m	10
	Störfestigkeit gegen transiente Störgrößen	Prüfspannung, Wiederholrate	kV (kHz)	± 2 (5)
	Zerstörfestigkeit	Spannung	kV	± 2
	Festigkeit gegen leitungsgebundene Störungen	Spannung	V	10
	Störfestigkeit gegenüber Magnetfeldern mit energietechnischen Frequenzen	magnetische Feldstärke	A/m	100
	Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder	magnetische Feldstärke	A/m	300
	...	...	...	...
chemische/biologische Umweltbedingungen	...	...	...	...
	...	...	...	...
	...	...	...	...
	...	...	...	...

**Tabelle 5-2: Terminologische Präzisierung durch Merkmale, Größen und Werte**

Die Einhaltung der zulässigen Umweltbedingungen ist ebenfalls durch die generische Ressource nachzuweisen. Diese Eigenschaften können ebenfalls auf einer nächsten Stufe des Entwurfs ermittelt und mit ihren entsprechenden Merkmalsausprägungen (Größe und Werte) schriftlich fixiert werden. Tabelle 5-2 zeigt die Verfeinerung für Umweltbedingungen mit ihren Eigenschaften, Merkmalen, Größen und Werten.

### 5.3.3 Integration von Funktionseinheiten und Funktionsträgern

Die zuvor dargestellten generischen und technologieinvarianten Sicherungsfunktionen können im Rahmen der Systementwicklung auf die verfügbaren Rechnerplattformen (vgl. Abschnitt 5.3.2) allokiert werden. In Tabelle 5-3 ist die Entwicklung der Funktionsimplementierung anhand des Beispiels der Stellwerkstechnik exemplarisch dargestellt. Die Fortschrittsspirale technologischer Evolution, in der neue Mittel neue Zwecke ermöglichen und im Umkehrschluss jedoch auch neue Zwecke neue technische Mittel erfordern, wird hierbei deutlich. Auf Grund der höheren Funktionalität der Rechner können diese mehr Aufgaben übernehmen, was neben der Zusammenfassung der Aufgaben der Zentralebene auch in der Integration von Verknüpfungs- und Zentralebene deutlich wird. Neben dem reduzierten Baugruppenspektrum korrespondiert der technologische Fortschritt ebenfalls mit einer Ausweitung der Stellbereiche, so dass in der Feldebene mehr Feldelemente als zuvor gesteuert und überwacht werden können.

Die Sicherheit des Transportprozesses zu gewährleisten, sowie die Verfügbarkeit der hierfür erforderlichen Sicherungsfunktionen aufrechtzuerhalten, ist eine zentrale Aufgabe des Entwurfs leit- und sicherungstechnischer Systeme für den Eisenbahnbetrieb. Diese können dem in Abschnitt 5.1 dargestellten Modellkonzept des Systems folgend durch die zentralen Eigenschaften *Zustand*, *Funktion*, *Struktur* und *Verhalten* beschrieben werden.

Im Entwurfsprozess werden die gerätetechnischen Funktionsträger als Subsysteme mit ihren bekannten Zuverlässigkeitseigenschaften (die entweder auf der Grundlage von Prognosewerten oder Felddaten ermittelt werden können) über die Systemstruktur miteinander in Beziehung gesetzt. Die Systemstruktur im Allgemeinen und die Mehrkanalität im Besonderen stellen hierbei ein zentrales Gestaltungsmerkmal dar. Erst im Zusammenwirken mit der Systemstruktur bedingt die Ressourcenzuverlässigkeit neue emergente Eigenschaften, die aus der Zuverlässigkeit der Ressource selbst nicht erklärbar sind. Ein Beispiel hierfür ist die *Fehlersicherheit*, die beim Entwurf des Systems so einfließt, dass bei Eintreten einer Fehlfunktion ein sicherer Zustand eingenommen und beibehalten wird. Fehlersicherheit kann durch Redundanz erreicht werden, indem die sicherheitsrelevante Funktion durch mindestens zwei Betrachtungseinheiten erbracht wird, die strukturell miteinander gekoppelt sind. Eine andere emergente Eigenschaft ist die *Verfügbarkeit*, die durch eine weitere zusätzliche Einheit erreicht wird. In Bezug auf das dargestellte Beispiel der Stellwerkstechnik wird deutlich, dass durch bewusste Gestaltung der Systemstruktur die Sicherheit (beispielsweise durch Verwendung einer fehlersicheren Plattform in der Struktur 2-von-2) und die Verfügbarkeit (beispielsweise durch eine Dopplung der fehlersicheren Plattform zu einer Struktur 2x(2-von-2)) erreicht werden können.

Funktionsebene (nach VDV 1993)	Funktionsschwerpunkt	Stellwerk Simis® C Typ 2 (1991*) – Typ 8 (1997*)	Stellwerk Simis® C Typ 9 (2002*)	Stellwerk Simis® W (Release 1)	Stellwerk Simis® D (2005*)
Bedienebene	- Bedienung und Anzeige	Bedienplatzsysteme BPS 900, bzw. BPS 901	Bedienplatzsystem BPS 901	Bedienplatzsystem Vicos OC 100	Bedienplatzsystem BPS 901
Zentralebene	- Eingaben verarbeiten (Zulässigkeitsprüfung der Bedienkommandos)	Bedien- und Anzeigerechner (BAR 16) - Ressource: Simis 3216 - Struktur: 2-von-3	Zentraler Schnittstellen- und Aufrüstrechner (ZeSAR) - Ressource: Simis 3216 - Struktur: 2-von-3	Interlocking Interface Component und Overhead Management Component (IIC/OMC) - Ressource: Simis 3216 - Struktur: 2-von-3	Interlocking Interface Component und Overhead Management Component (IIC/OMC) - Ressource: Simis ECC - Struktur: 2-von-3
	- Ausgaben verarbeiten (Statusmeldungen der Bereichsstellrechner)  - Projektierungsdaten zum Aufrüsten der Bereichsstell- und Achszählrechner speichern und übertragen				
Verknüpfungsebene	- Funktionen der Fahrstraßeneinstellung, -überwachung und -auflösung ausüben	Bereichsstellrechner (BSTR) - Ressource: Simis C - Struktur: 2x(2-von-2)	Bereichsstellrechner (BSTR) - Ressource: Simis C - Struktur: 2x(2-von-2)	Area Control Component mit integrierten Stellteilen (ACC) - Ressource: Simis ECC - Struktur: 2-von-3	Area Control Component mit integrierten Stellteilen (ACC) - Ressource: Simis ECC - Struktur: 2-von-3
Stellebene	- Feldelemente steuern und überwachen - Pegel umsetzen und Leistung schalten	Stellteilschränke und Stellteilstelle	Stellteilschränke und Stellteilstelle		
Feldebene	- Lageänderung der Weichenzungen bewirken - Fahrzeugbewegungen detektieren - Signalbegriffe anzeigen	- Weichenantriebe - Gleisfreimeldeeinrichtung - Lichtsignale	- Weichenantriebe - Gleisfreimeldeeinrichtung - Lichtsignale	- Weichenantriebe - Gleisfreimeldeeinrichtung - Lichtsignale	- Weichenantriebe - Gleisfreimeldeeinrichtung - Lichtsignale

\*Die angegebenen Jahreszahlen beziehen sich auf die Erstinbetriebnahme des jeweiligen Stellwerkstyps.

Tabelle 5-3: Entwicklung der Funktionsimplementierung bei fortschreitender Entwicklung technischer Ressourcen [Mül07]





## **6 Modellierung einer formalisierten Terminologie zur Verlässlichkeit**

Im vorliegenden Kapitel werden zunächst die bestehenden Defizite der Terminologie zur Verlässlichkeit technischer Systeme in den Normen aufgezeigt (Abschnitt 6.1). Die Analyse eines aus relevanten technischen Normen bestehenden Textkorpus als Zusammenstellung von Texten oder Textelementen verdeutlicht, dass ein methodisch stringenter Neuanfang der fachsprachlichen Bedeutungsfestlegung geboten ist. Hierfür werden die einzelnen Teile des zuvor entwickelten methodischen Ansatzes verwendet.

In den Abschnitten 6.2 und 6.3 werden zuerst Terminologiegebäude der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit als Geschehnisse instanziiert. Es werden terminologische Zusammenhänge im Sinne einzelner Teil-Terminologiegebäude formalisiert.

In den Abschnitten 6.4 und 6.5 gelingt es durch die integrative Verknüpfung der zuvor formalisierten Teil-Terminologiegebäude die abstrakten Termini der Sicherheit und der Verfügbarkeit zu explizieren. Oftmals sind Termini isoliert nicht erklärbar, da sich ihre Bedeutung erst aus ihrem Zusammenwirken innerhalb eines Terminologiegebäudes ergibt. Aus der Kenntnis der Emergenz in der Systemtheorie (vgl. Abschnitt 5.1.3) wird es möglich, abstrakte Eigenschaften technischer Systeme zu erklären.

In Abschnitt 6.6 wird auf der Grundlage der im vorhergehenden Abschnitt entwickelten Terminologiegebäudes der Sicherheit dargestellt, wie durch den methodischen Ansatz terminologische Kontrolle im Sinne der Gewährleistung der Homonym- und Synonymfreiheit erreicht wird. Als Ergebnis wird der Ausschnitt eines kontrollierten Vokabulars zur Sicherheit exemplarisch dargestellt.

### **6.1 Defizite terminologischer Festlegungen in den technischen Normen**

Bei einer näheren Betrachtung des terminologischen Bestands zur Verlässlichkeit technischer Systeme fällt auf, dass die genormten terminologischen Festlegungen nicht durchgängig einwandfrei und ohne Fehler sind. Teilweise sind Definitionen widersprüchlich oder Festlegungen in terminologischer Hinsicht verbesserungs-würdig. Die folgenden Abschnitte zeigen bestehende Defizite auf.

#### **6.1.1 Synonyme Verwendung von Benennungen**

Der Gegenstandsbereich der Sicherheit technischer Systeme verwendet viele synonyme Benennungen, wie Tabelle 6-1 verdeutlicht. Die Synonymie führt zu Missverständnissen in der Zusammenarbeit von Beteiligten verschiedener Anwendungsdomänen. Die Synonymiebeziehung kann dazu führen, dass der Empfänger implizite und vielleicht falsche Vermutungen über eine andere Bedeutung anstellt. Ein erhöhter Abstimmungsaufwand, sowie die Gefahr von Fehlleistungskosten erfordern daher eine terminologische Kontrolle, die unter anderem durch die konsequente Vermeidung von Mehrfachbenennungen erzielt wird.

Benennung	Definition
Gefährlicher Vorfall	Gefährdungssituation, die zu einem Schaden führt.
Schadensereignis	
Unfall	
Notfall	

Tabelle 6-1: Synonymie im Terminologiefeld der Sicherheit

6.1.2 Inkonsistenz terminologischer Festlegungen

Die angestrebte Widerspruchsfreiheit in der Terminologie der technischen Normen ist zur Zeit nicht gegeben. Zum einen existieren bereits innerhalb eines terminologischen Eintrags Inkonsistenzen zwischen Definition und Benennung. Zum anderen sind terminologische Festlegungen untereinander unvereinbar, was sich neben einer fehlerhaften oder fehlenden Versprachlichung kausaler Zusammenhänge auch in inkongruenten Umfängen äußert.

Logische Inkonsistenzen zwischen Definition und Benennung

Tabelle 6-2 verdeutlicht die derzeit bestehenden logischen Widersprüche in den terminologischen Festlegungen. Benennungen und Definitionen können als äquivalente sprachliche Repräsentationen eines Terminus angesehen werden (vgl. [DIN93b]).

			Kategorie des außersprachlichen Bezugsobjekts	
Quelle	Klasse/Kategorie der sprachlichen Repräsentation	Instanzierung der sprachlichen Repräsentation	Zustand	Ereignis
[DIN EN 61508-4; 3.1.4]	Benennung	gefährlicher <u>Vorfall</u>		x
	Definition	Gefährdungss <u>situation</u> , die zu einem Unfall führt	x	
[IEC 61508-4; 3.1.4]	Benennung	hazardous <u>event</u>		x
	Definition	hazardous <u>situation</u> which results in harm	x	
[DIN EN 13701]	Benennung	Fehl <u>zustand</u>	x	
	Definition	unplanmäßiges <u>Vorkommnis</u> [...] das [...] zu einem oder mehreren Ausfällen der Einheit selbst [...] führen kann.		x
[DIN V 19250; 2.8]	Benennung	unerwünschtes <u>Ereignis</u>		x
	Definition	Fehl <u>zustand</u> einer Betrachtungseinheit	x	

Tabelle 6-2: Logische Inkonsistenzen zwischen Benennung und Definition

Legt man der Analyse des terminologischen Bestands die Differenzierung in die grundlegenden semantischen Kategorien von Zuständen und Ereignissen zugrunde, so

offenbaren sich hier logische Widersprüche: Der Wahrheitswert der Benennung wird durch die Interpretation der Definition in Frage gestellt. Für solche aus der Divergenz von Definition und Benennung resultierenden kognitiven Dissonanzen sind in Tabelle 6-2 verschiedene Beispiele aufgeführt.

**Fehlerhafte oder fehlende Versprachlichung kausaler Zusammenhänge**

Eine bloße Kategorisierung der außersprachlichen Bezugsobjekte in Zustände und Ereignisse allein ist für eine eindeutige terminologische Festlegung zwar notwendig jedoch allein nicht hinreichend. Im Sinne einer eindeutigen Festlegung der Termini ist auch eine eindeutige Klärung ihres Kausalzusammenhangs zwingend. Häufig liegen in der Norm keine Vorstellungen kausaler Zusammenhänge zugrunde [Hän08]. Enthält eine Norm jedoch Vorstellungen über Kausalrelationen, sind diese oftmals lediglich implizit und somit für den Leser kaum nachvollziehbar oder gar widersprüchlich.

Tabelle 6-3 zeigt, dass zum Terminus *Ausfall* als „Beendigung der Fähigkeit einer Funktionseinheit, eine geforderte Funktion auszuführen“ (vgl. [IEC90][DIN06b]) zwar hinsichtlich seiner Definition in der Normung ein Konsens vorliegt: Der Ausfall wird übereinstimmend als Ereignis eingeordnet. Es besteht jedoch eine unterschiedliche Auffassung über die Einordnung des eng mit dem Ausfall verbundenen Terminus *Fehler* in das Terminologiegebäude der Verlässlichkeit technischer Systeme. Die unterschiedliche Auffassung des Fehlers als Vorbedingung (Ursache) oder Nachbedingung (Wirkung) des Ereignisses erschwert eine fehlerfreie Kommunikation oder macht diese gar unmöglich.

				Zustandskategorie	
Quelle	Benennung	Definition	Bezugsterminus	Vorbedingung	Nachbedingung
[DIN EN 61508-4]	Fehler (en: fault)	Nicht normale <u>Bedingung</u> , die [einen Ausfall] <u>verursachen</u> kann.	Ausfall	x	
[IEC 60050-191]	Fehlzustand (en: fault)	Zustand einer Einheit, indem sie unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen [...]			x

**Tabelle 6-3: Widersprüche zwischen verschiedenen Definitionen**

Inkongruente Extensionen (Umfänge)

Hinsichtlich des Umfangs (vgl. Abschnitt 4.3.3) des Terminus *Verlässlichkeit* gibt es offenbar unterschiedliche Ansichten. Die Verständnisse unterscheiden sich teilweise hinsichtlich der mit Ihnen assoziierten Umfänge, bzw. sind sie bezüglich einzelner unter diesem Terminus subsummierten Hyponyme inkongruent. Dies ist mit beispielhaften Definitionen in Tabelle 6-4 dargestellt:

Benennung	Definition	Quelle
Verlässlichkeit (en: dependability)	„A general term describing the overall trustworthiness of a system, i.e. the extent to which reliance can justifiably be placed on the system. <b>Reliability</b> , <b>availability</b> and <b>safety</b> are attributes of dependability.“	[Int07]
	„Tupel [...] der Systemeigenschaften <b>Zuverlässigkeit</b> , <b>Verfügbarkeit</b> und <b>Sicherheit</b> , das beschreibt, in welchem Umfang das Vertrauen, das der Anwender in das System setzt, gerechtfertigt ist.“	[Kem07]
	„The collective term used to describe the <b>availability performance</b> and its influencing factors: <b>reliability performance</b> , <b>maintainability performance</b> and <b>maintenance support performance</b> .“	[IEC90]
	„Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung während oder nach vorgegebenen Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen [...] [die <b>Gesamtheit aller Einzelforderungen</b> an die Beschaffenheit, die das Verhalten der Einheit während oder nach vorgegebener Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen betreffen,] zu erfüllen.“	[DIN90]
	„Kombination aus <b>Zuverlässigkeit</b> , <b>Verfügbarkeit</b> , <b>Instandhaltbarkeit</b> und <b>Sicherheit</b> “	[DIN00]

Tabelle 6-4: Inkongruente Umfänge des Verlässlichkeitsbegriffs

### 6.1.3 Semantische Vagheit terminologischer Festlegungen

Ein Ausdruck ist vage, wenn er bestimmte semantische Merkmale unspezifiziert lässt. Die Vagheit lässt immer einen gewissen Interpretationsspielraum zu, der die flexible Anpassung an unterschiedliche Kontexte zulässt. Was genau darunter gefasst werden kann, ist jedoch nicht eindeutig festlegbar. So existieren kaum vergleichbare Merkmale und Größen zur Quantifizierung der Sicherheit. Häufig wird Sicherheit durch absolute Schadensmaße oder Risikogrößen quantifiziert. Dabei sind zur Objektivierung von Risiken einschließlich ihres Vergleichs neutrale und vor allem definierte Bezugsgrößen unumgänglich. Dies geschieht oftmals ohne auf die jeweiligen Umstände wie betroffene Populationen und Expositionsdauern Bezug zu nehmen. Es fehlt eine Definition vergleichbarer Risikomaße, um durch den Bezug auf geeignete Referenzgrößen zu spezifischen Sicherheitsmaßen zu gelangen. Lägen allgemein (anerkannte) Sicherheitsmaße vor, wäre die Vergleichbarkeit verschiedener Lösungen quantitativ durch Ermittlung der jeweiligen, aber auf vergleichbare Bezugsgrößen referenzierten Werte möglich [SSW05][SD08].

Wie schwierig und ethisch herausfordernd eine solche Fragestellung ist, kann anhand der Bestimmung des Schadensausmaßes dargestellt werden. Üblicherweise werden Personenschäden in drei Klassen eingeteilt. Die häufig in der Medizin vorhandenen fließenden Grenzen treten deutlich hervor. Es gibt daher viele unbestimmte Termini, was logisch begründete Urteile erschwert. Es wird festgestellt, dass selbst für den zentralen Terminus *Krankheit* eine befriedigende Definition noch nicht gelungen ist [Hec06]. Der Terminus *Todesfall*, als größtes Schadensausmaß, ist ein Beispiel für einen solchen unscharfen Terminus. Zwar ist in der Regel klar (Bedeutungskern), was unter einem Todesfall zu verstehen ist [Lar92][Sch05]. Indem aber der Zeitpunkt unklar ist, in dem ein Mensch als „verstorben“ gilt, ist der Terminus *Todesfall* bezüglich dieses wesentlichen semantischen Merkmals unspezifiziert und in dieser Hinsicht unscharf. Medizinisch wird hierbei zwischen dem Hirntod (die Gehirnströme im Hirn sind irreversibel und vollständig erloschen) und dem klinischen Tod (Zustand des Atem-, Herz- und Kreislaufstillstands) unterschieden. In Deutschland stellt der Hirntod bereits den Tod im juristischen Sinne dar. Es ist denkbar, dass dies in anderen Ländern der Europäischen Union anders interpretiert wird. Dies wird unter anderem bei der Harmonisierung der Sicherheitsstatistiken bedeutend.

### 6.1.4 Domänenspezifität terminologischer Festlegungen

Die domänenspezifischen terminologischen Festlegungen erschweren eine Fachkommunikation zwischen Benutzern verschiedener Fachsprachen. Die Unterschiede in den Terminologien liegen oftmals nicht explizit vor, so dass es hier zu Missverständnissen kommen kann. Dies wird im Folgenden exemplarisch am Beispiel des Terminus *Sicherheitsintegrität* verdeutlicht.

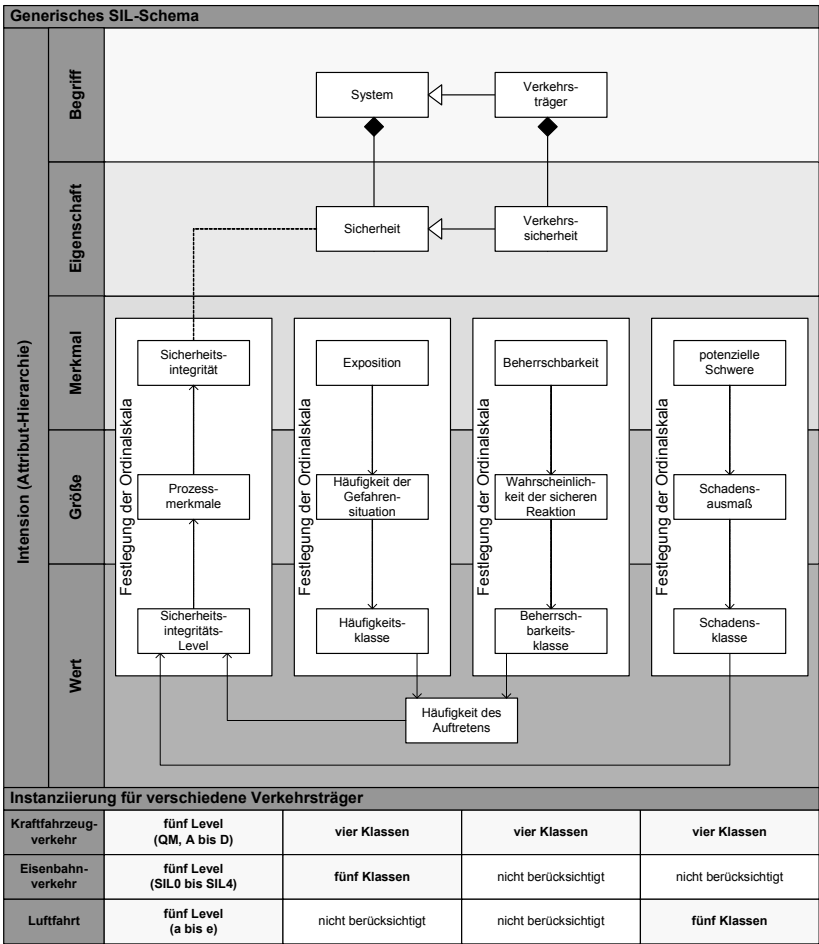


Abbildung 6-1: Domänenspezifische Verständnisse der Sicherheitsintegrität

Bei allen Verkehrsträgern wird die Sicherheit durch eine Vielzahl verschiedener Sicherheitsmaßnahmen bereits im Systementwurf bestimmt [BR03]. Mit Zunahme des Umfangs und der Komplexität ihrer softwaretechnischen Realisierung nimmt die Möglichkeit systematischer Fehler zu. In allen Verkehrsmoden gibt es daher entsprechende Normen, die durch die verbindliche Vorgabe technischer Konstruktionsmerkmale und Prozessanforderungen gewährleisten, dass das von der betrachteten Einrichtung ausgehende Risiko das zulässige Maß nicht überschreitet. Dazu wird in allen Ansätzen die Sicherheitsintegrität als die „Fähigkeit eines Systems, seine geforderten Sicherheitsfunktionen [...] zu erbringen“ [DIN03c] mit mehreren diskreten Stufen spezifiziert. Hierbei ist einer quantitativen Betrachtung im Sinne einer Risikobetrachtung stets ein qualitatives Sicherheitsziel im Sinne einer Sicherheitsanforderungsstufe zugeordnet. Diese Stufe drückt den Grad des Vertrauens aus, mit dem ein System seine spezifizierten Sicherheitseigenschaften bezüglich systematischer Fehler einhält.

Zwar wird in allen Normen das Risiko einheitlich als Kombination aus der Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit und den Folgen eines gefährlichen Ereignisses aufgefasst, jedoch werden diese beiden Teile der Risikodefinition in unterschiedlichem Maße in der Bestimmung der Sicherheitsintegritätsstufe berücksichtigt. Dies ist in Abbildung 6-1 veranschaulicht.

- In der *Kraftfahrzeugtechnik* wird neben der Häufigkeit des Auftretens eines gefährlichen Ereignisses, welches sich aus der Kombination der Exposition und der Beherrschbarkeit (als Möglichkeit des Fahrers regulierend einzugreifen) bestimmt, auch die erwartete Schadensschwere berücksichtigt [ISO08b].
- Im *Eisenbahnverkehr* wird lediglich die Häufigkeit des Auftretens eines Ereignisses erfasst. Eine explizite Berücksichtigung der Schadensschwere erfolgt nicht [DIN03c].
- In der *Luftfahrt* wird zwar die Schwere eines Schadens in mehreren Stufen bewertet, jedoch hat die Häufigkeit der Ereignisse keinen Einfluss auf die Bestimmung des Sicherheitsintegritätslevels und damit auf die geforderten Maßnahmen im Entwicklungsprozess [RTC99].

### 6.1.5 Verletzung der Grundsätze der Definitionserstellung

Nach den terminologischen Grundnormen besitzt die Inhaltsdefinition Vorrang, jedoch wird dieser Grundsatz der Definitionserstellung durch die technische Normung nicht immer eingehalten. Nachfolgend wird aufgezeigt, dass die Termini *Zuverlässigkeit*, *Verfügbarkeit*, *Instandhaltbarkeit* und *Sicherheit* zwar einheitlich als Eigenschaften aufgefasst werden, jedoch gegen das Prinzip der Systembezogenheit von Termini verstoßen wird [VDI06].

Gemäß [DIN 2230] bringt eine Inhaltsdefinition die Systembezogenheit von Termini zum Ausdruck durch:

- die Angabe des nächst höheren, abstrakteren Terminus, der das gemeinsame Merkmal für eine Begriffsreihe darstellt (genus proximum) und
- die Angabe der einschränkenden (spezifischen) Merkmale, welche die nebengeordneten (Unter-)begriffe voneinander abgrenzen (differentia specifica).

Hierzu werden zunächst die in [VDI06], [IEC90] und [DIN05b] enthaltenen Definitionen dieser Termini in Abbildung 6-2 einander gegenübergestellt, was Modifikationen auf syntaktischer Ebene (Satzbau) erfordert. So wurden einzelne Syntagmen (Satzglieder) identifiziert, bei denen sich die Semantik der einzelnen Satzglieder nicht änderte.



Definiendum	Verlässlichkeit			
	Definitionen der elementaren Eigenschaften		Definitionen der emergenten Eigenschaften	
	Instandhaltbarkeit [VDI06][IEC90]	Zuverlässigkeit [VDI06][IEC90]	Verfügbarkeit [VDI06][IEC90]	Sicherheit [DIN05c]
Definiens	Fähigkeit einer Einheit unter gegebenen (Anwendungs-)bedingungen			
	in einem Zustand erhalten, bzw. in ihn zurückversetzt werden zu können, in dem sie [in der Lage ist],			
	eine geforderte			
				sicherheitstechnische
	Funktion			
		zu einem angegebenen Zeitpunkt oder		
		für/während eines gegebenen Zeitintervalls		
	erfüllen zu können			
	vorausgesetzt, dass die erforderlichen Hilfsmittel bereitgestellt sind.	vorausgesetzt, dass die Instandhaltung unter gegebenen Bedingungen mit den vorgeschriebenen Verfahren und Hilfsmitteln durchgeführt wird.		

Abbildung 6-2: Gegenüberstellung der Definitionen von Eigenschaften der Verlässlichkeit

Die Gegenüberstellung in Abbildung 6-2 zeigt, dass der Bezug zum Terminologiegebäude nicht gegeben ist. Alle Definitionen besitzen das gemeinsame Merkmal der „Fähigkeit einer Einheit unter gegebenen Anwendungsbedingungen eine geforderte Funktion erfüllen zu können“. Dies wäre unter konsequenter Beachtung des Grundsatzes der Systembezogenheit eine sinnvolle Definition des diesen Termini übergeordneten Terminus *Verlässlichkeit*, der jedoch anders definiert ist (vgl. Abschnitt 0).

6.1.6 Unverständlichkeit terminologischer Festlegungen

Fachsprachen besitzen neben ihrer kognitiven Funktion als Instrument menschlicher Erkenntnis auch eine kommunikative Funktion bei der Vermittlung von Fachwissen in unterschiedlichen fachinternen, interfachlichen und fachexternen Verwendungssituationen [Bie97]. Ein Zweck eines normativen Textes ist es, dass der Nutzer die dargebotenen Informationen in seine Wissensstrukturen integriert. Ein solches Vorgehen schlägt jedoch dann fehl, wenn der Leser mental von einer natürlichsprachlichen in eine formalsprachliche (mathematische) Beschreibung transformieren muss. Darüber hinaus wird bereits bei der

Textproduktion von einer formalsprachlichen in eine natürlichsprachliche Repräsentation transformiert, so dass gegebenenfalls schon im Normtext selbst eine fehlerhafte Umschreibung vorliegen kann.

Ein Beispiel für eine solche unzweckmäßige Versprachlichung mathematischer Zusammenhänge stellt die in [DIN90] enthaltene Definition der Verfügbarkeit dar. Demnach ist die Verfügbarkeit die „mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen dividiert durch die Summe aus mittlerer Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen und mittlerer Störungsdauer.“ Hier wäre eine nicht sprachliche Bezeichnung mittels einer Formel besser:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

### 6.1.7 Fazit

Die Analyse der Normen für die Verlässlichkeit technischer Systeme zeigt, dass ein konsistentes Terminologiegebäude fehlt. Nur auf diese Weise ist innerhalb einer Sprache eine eindeutige und widerspruchsfreie Festlegung und Abgrenzung von Termini möglich. Unterschiedliche Verständnisse hinsichtlich des Inhalts und Umfangs von Begriffen in verschiedenen Sprachen werden offenbar und die Äquivalenzgrade von Benennungen können bestimmt werden.

Die dargestellten Defizite der Terminologiebildung verdeutlichen, dass ein neuer Ansatz für die fachsprachliche Bedeutungsfestlegung erforderlich ist. Dies ist auf der Grundlage des Kapitel 3 entwickelten Modellkonzepts des Terminus möglich. Mit den miteinander verschränkten Modellkonzepten des Terminus (formalisiert mit UML-Klassendiagrammen) und des Systems (welches sich im Beschreibungsmittel der Petrinetze manifestiert) liegt der methodische Ansatz vor, der im Folgenden auf das Wortfeld der Verlässlichkeit angewendet wird.

## 6.2 Instanziierung der Zuverlässigkeit

Unter der Zuverlässigkeit wird die Fähigkeit einer Einheit verstanden, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für ein bestimmtes Zeitintervall zu erfüllen [VDI06]. Für die terminologische Klärung der Zuverlässigkeit sind vereinfachend zwei komplementäre Zustände notwendig.

- Die *Funktionsfähigkeit* ist die Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für ein bestimmtes Zeitintervall zu erfüllen [IEC90]. Dieser Zustand soll im Folgenden als *funktionsfähiger Zustand* bezeichnet werden.
- Unter einem *Fehlzustand* wird der Zustand einer Einheit verstanden, in dem sie unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen. Die Funktionsunfähigkeit, welche durch Wartung oder andere geplante Handlungen verursacht wird oder durch das Fehlen äußerer Mittel hervorgerufen wurde, wird hierbei explizit nicht als Fehlzustand angesehen. Wird der Fehlzustand als wahrscheinlich eingestuft, Personenschäden, Sachschäden oder andere unvermeidbare Schäden zu verursachen, spricht man von einem *kritischen Fehlzustand*. Ist

dies nicht der Fall, handelt es sich um einen *unkritischen Fehlzustand* [IEC90].

Der *Ausfall* ist die Beendigung der Funktionsfähigkeit einer Einheit. Dieser *Ausfall* stellt den Zustandsübergang zwischen dem funktionsfähigen Zustand und dem *Fehlzustand* dar. Hat der *Ausfall* einen *kritischen Fehlzustand* zur Folge, handelt es sich um einen *kritischen Ausfall*. Ist dies nicht der Fall, spricht man von einem *unkritischen Ausfall*.

Der Ausfall ist ein nicht determinierbares Ereignis, da sein tatsächlicher Zeitpunkt in der Regel nicht exakt bestimmt werden kann. Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie und deren unscharfem Maß der Wahrscheinlichkeit ist es möglich, quantitative Aussagen über nicht determinierbare Ereignisse zu treffen [Rak02]. Es ist hierbei das Ziel, die charakterisierenden Eigenschaften des Systems durch Zuverlässigkeitskenngrößen zu quantifizieren. Die Zeitdauern, die mit den Eigenschaften einer Betrachtungseinheit verbunden sind, werden in der Zuverlässigkeit durch Zufallsvariablen beschrieben. Den Zufallsvariablen werden Wahrscheinlichkeitsfunktionen zugeordnet.

- Die Dauer des *funktionsfähigen Zustands* als sein Merkmal ist eine Zufallsvariable. Dieser Zustand besteht für eine gewisse Zeit. Es ergibt sich somit eine *Überlebenswahrscheinlichkeit* als Wahrscheinlichkeit, dass eine Einheit eine geforderte Funktion für ein gegebenes Zeitintervall erfüllen kann [IEC90]. Diese Wahrscheinlichkeitsfunktion kann durch die *Überlebenswahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion*  $R(t)$  beschrieben werden.  $R(t)$  ist eine monoton fallende Funktion.
- Der *Fehlzustand* ist komplementär zum funktionsfähigen Zustand und hat ebenfalls eine zufallsverteilte Dauer. Es ergibt sich somit eine *Ausfallwahrscheinlichkeit* als Wahrscheinlichkeit, dass eine Einheit eine geforderte Funktion für ein gegebenes Zeitintervall nicht erfüllen kann [Rak02]. Da es sich um gegensätzliche Zustände handelt, sind auch die Wahrscheinlichkeiten komplementär. Die *Ausfallwahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion*  $F(t)$  ist somit das Komplement der *Überlebenswahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion*  $R(t)$  zu eins.  $F(t)$  ist eine monoton steigende Funktion.
- Die zeitliche Änderung der Ausfallwahrscheinlichkeit ist die *Ausfallwahrscheinlichkeitsdichtefunktion* [Rak02]. Sie berechnet sich als erste Ableitung aus der *Ausfallwahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion* oder der *Überlebenswahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion*.

Liegen die Verteilungsfunktionen vor, können daraus weitere Merkmalswerte und Größen bestimmt werden:

- Der Erwartungswert der *Überlebenswahrscheinlichkeitsdichtefunktion* stellt ein Maß für die zu erwartende Dauer bis zur Beendigung der Funktionsfähigkeit dar. Dieser Wert wird als *mittlere Dauer bis zum Ausfall* bezeichnet (en: mean time to failure, MTTF). Die *Dauer bis zum Ausfall* ist die akkumulierte Dauer der Betriebszeit einer Einheit ab Nutzungsbeginn bis zum Ausfall oder ab dem Zeitpunkt der Wiederherstellung bis zum nächsten Ausfall.
- Bei der Definition der *Dauer bis zum Ausfall* deutet sich an, dass eine zusätzliche Differenzierung nach den Betriebsarten „in Betrieb“ und „nicht in Betrieb“ notwendig ist, da sich diese Dauer lediglich auf die Zeit, in welcher die Einheit tatsächlich in Betrieb

ist, bezieht [Rak02]. In einer alternativen Betrachtung können die Zeitintervalle, während derer die Einheit im betriebsfähigen Zustand ist, betrachtet werden. Dieser Zustand, in dem eine Einheit funktionsfähig ist, wird als *Klarzustand* (en: up state) bezeichnet. Das zugehörige Zeitintervall ist die *Klarzeit* (en: up time), welche als Zufallsvariable durch eine Verteilung beschrieben ist. Ihr Erwartungswert ist die *mittlere Klardauer* (en: mean up time, MUT). Im Gegensatz zur mittleren Dauer bis zum Ausfall gehören in die Bestimmung der *mittleren Klardauer* auch die durch Wartung oder andere geplante Handlungen verursachten Zeiten außerhalb der Funktionsfähigkeit. Dadurch unterscheiden sich die *mittlere Dauer bis zum Ausfall* (MTTF) und die *mittlere Klardauer* (MUT). Nur wenn keine Wartungen oder sonstige geplanten Handlungen an der Einheit durchgeführt werden, die zu deren Funktionsunfähigkeit führen, sowie die Einheit gleichzeitig im Dauerbetrieb ist (der Klarzustand somit dem Betriebszustand entspricht und folglich die Klarzeiten auch Betriebszeiten sind) sind die Werte der *mittleren Klardauer* und der *mittleren Dauer bis zum Ausfall* identisch.

- Eine weitere wichtige Kenngröße, welche die verschiedenen Überlebenswahrscheinlichkeitsverteilungen charakterisiert, ist die *Ausfallrate*. Die Ausfallrate  $\lambda(t)$  ist die relative zeitliche Änderung der Ausfallwahrscheinlichkeit, indem diese auf die Überlebenswahrscheinlichkeit bezogen wird [Rak02] (vgl. Abbildung 6-3).

Aus den zuvor genannten Zuverlässigkeitskenngrößen lassen sich die notwendigen Kenngrößen für eine Sicherheitsbetrachtung ableiten. Allerdings werden hier nicht alle Ereignisse berücksichtigt, sondern die sicherheitsrelevanten Teilmengen dieser Ereignisse (*kritischer Ausfall*), die eine Gefährdung bewirken. Geht man davon aus, dass sich die Menge aller Fehl- und Betriebszustände in Zustände mit gefährlichen Auswirkungen und mit ungefährlichen Auswirkungen einteilen lässt, so wird deutlich, dass für die Sicherheit eines Systems lediglich die Menge der gefährlichen Zustände von Bedeutung ist. In Analogie zu den zuvor genannten Zuverlässigkeitskenngrößen ergibt sich somit:

- In Bezug auf einen *kritischen Ausfall* kann die *mittlere Dauer bis zum Ausfall* in eine *mittlere Dauer bis zum kritischen Ausfall* (Mean Time to Dangerous Failure, MTTF<sub>d</sub>) konkretisiert werden [DIN08c].
- In Analogie zur mittleren Dauer bis zum Ausfall (MTTF) kann auch bei der *Ausfallrate* zwischen einer *Ausfallrate bei unkritischen Ausfällen* (rate of safe failure,  $\lambda_s$ ) und einer *Ausfallrate bei kritischen Ausfällen* (rate of dangerous failure,  $\lambda_d$ ) unterschieden werden.

Zwischen den identifizierten Größen für Zustände und Ereignisse existieren mathematische Relationen. So sind Dauern und Raten reziproke Werte. Die differenzierten Raten stellen Komplementärwahrscheinlichkeiten dar, ebenso komplementär zueinander sind die identifizierten Bestandsdauern der Zustände. Abbildung 6-3 zeigt die formalisierte Darstellung der Merkmale und Größen des Eigenschaftsbegriffs der Zuverlässigkeit in der Kombination komplementärer Beschreibungsmittel.

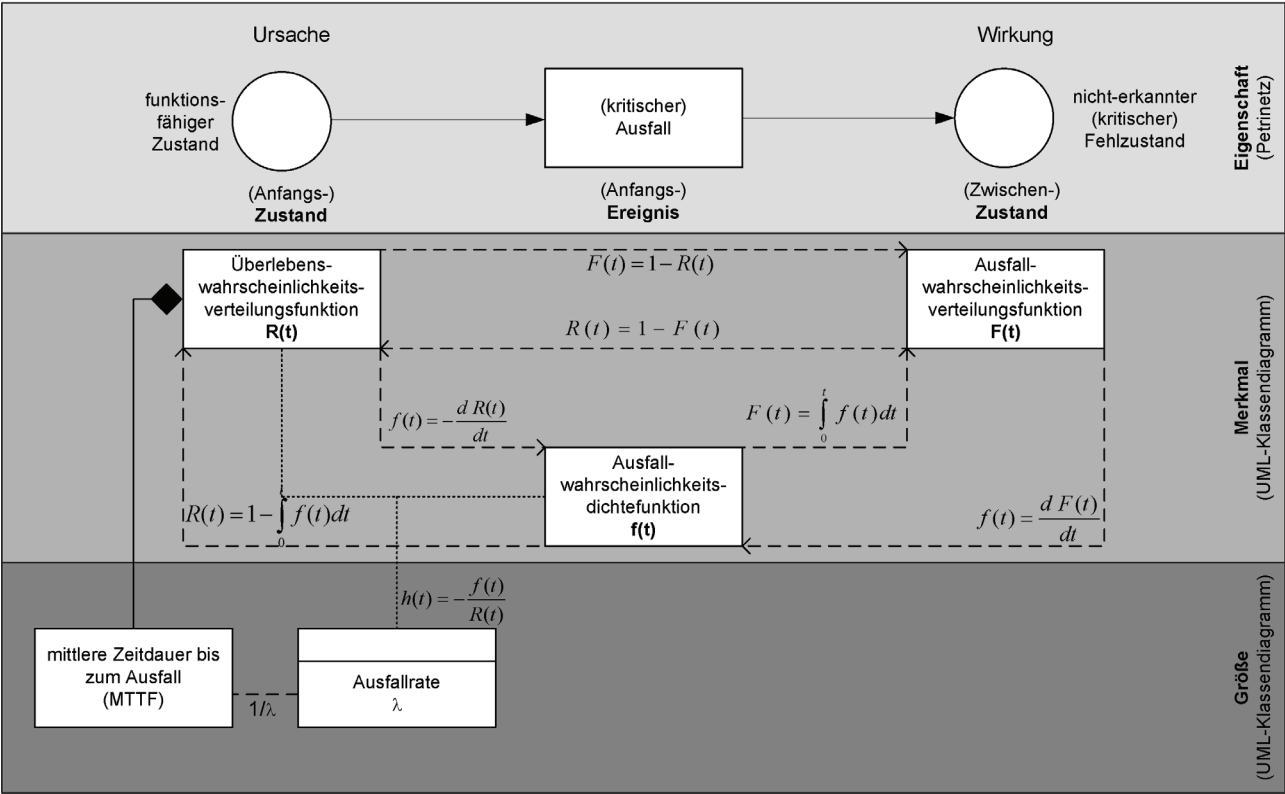


Abbildung 6-3: Instanziierung statischer und dynamischer Aspekte des Zuverlässigkeitsbegriffs

### 6.3 Instanziierung der Instandhaltbarkeit

Der Terminus *Instandhaltbarkeit* wird definiert als die Fähigkeit einer Einheit, unter gegebenen Anwendungsbedingungen in einem Zustand erhalten oder in ihn zurückversetzt werden zu können, in dem sie eine geforderte Funktion erfüllen kann. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Instandhaltung unter gegebenen Bedingungen mit den vorgegebenen Verfahren und Hilfsmitteln durchgeführt wird [VDI06]. Für die terminologische Klärung der Instandhaltbarkeit sind ebenfalls vereinfachend die zwei komplementären Zustände der Funktionsfähigkeit und des Fehlzustands notwendig.

Der Prozess, bei dem eine Einheit vom erkannten kritischen Fehlzustand in den funktionsfähigen Zustand überführt wird, ist die Wiederherstellung oder die Instandhaltung. Der Terminus *korrektive Instandhaltung* bezeichnet „Maßnahmen nach Fehlererkennung, um eine Einheit in den funktionsfähigen Zustand zurückzuführen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“ [IEC90] und steht in reverser Relation zum Terminus *Ausfall*.

### 6.3.1 Mittlere Zeit bis zur Wiederherstellung

Die Instandhaltbarkeit ist gekennzeichnet durch verschiedene Tätigkeiten, denen bestimmte Zeitdauern entsprechen. Abbildung 6-4 zeigt den Zusammenhang der einzelnen Zeitanteile. Sie werden nachfolgend erläutert.

Das Zeitintervall, in dem eine Einheit aufgrund eines Ausfalls im nicht verfügbaren Zustand wegen interner Ursachen ist, wird als *Zeitintervall bis zur Wiederherstellung* bezeichnet. Dieses Zeitintervall gibt die Zeitdauer vom Auftreten eines Fehlers bis zur Wiederinbetriebnahme an. Der (intendierte und vorübergehend billigend in Kauf genommene) Fehlzustand oder die Funktionsunfähigkeit einer Einheit während der vorbeugenden Instandhaltung (Wartung) wird somit zunächst nicht berücksichtigt. Als Zufallsvariable wird der *Zeitdauer zur Wiederherstellung* eine Wahrscheinlichkeitsfunktion zugeordnet. Ihr Erwartungswert bezeichnet die *mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung* (en: mean time to restoration, MTTR). Sie besteht aus den folgenden Zeitanteilen:

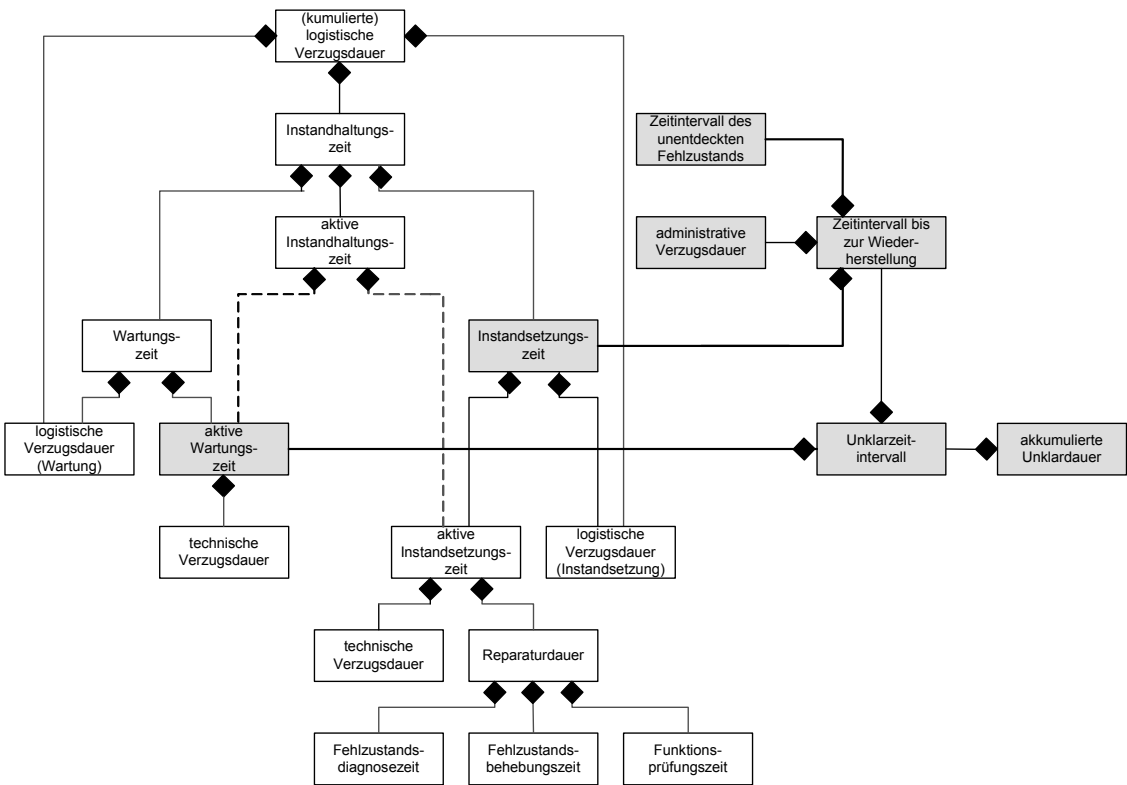


Abbildung 6-4: Grundlegende Zeitanteile der Instandhaltung

- Das *Zeitintervall des unentdeckten Fehlzustands* bezeichnet die zwischen dem Ausfall und der Erkennung des daraus resultierenden Fehlzustands verstrichene Dauer [IEC90].
- Die *administrative Verzugsdauer* bezeichnet die akkumulierte Dauer, während der eine Instandsetzung an einer fehlerhaften Einheit aus administrativen Gründen nicht durchgeführt werden kann [IEC90]. Als Zufallsvariable verfügt diese Zeit über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung. Ihr Erwartungswert bezeichnet die *mittlere administrative Verzugsdauer* (en: mean administrative delay, MAD).

- Die *Instandsetzungszeit* fließt komplett in die Berechnung ein, da die Instandsetzung auf einen Ausfall folgt und zum Ziel hat, die Einheit in den funktionsfähigen Zustand zurückzusetzen. Die Einheit ist somit während des gesamten Zeitraums inklusive der technischen und logistischen Verzugsdauern nicht verfügbar.

### 6.3.2 Bedeutung der Diagnose

Bislang wurde die Wiederherstellung auf der obersten Gliederungsebene betrachtet. Dieser Betrachtung entspricht die *Instandsetzungszeit*. Die Instandsetzung lässt sich jedoch in verschiedene Teilaufgaben unterteilen, die mit einer bestimmten Zeitdauer einhergehen und entsprechende Übergangsraten zwischen den Zuständen aufweisen. In einer ersten Dekomposition kann die Wiederherstellung nach [IEC90] in drei Teilaufgaben differenziert werden. Die in Abbildung 6-6 als Transition eines Petrinetzes dargestellte Wiederherstellung ist in Abbildung 6-5 als Transitionsverfeinerung weiter präzisiert worden.

- Unter *Fehlzustandsdiagnose* werden die Tätigkeiten zur Fehlzustandserkennung verstanden. Die Dauer, während der die Fehlzustandsdiagnose durchgeführt wird, wird als *Fehlzustandsdiagnosezeit* bezeichnet. Dieses Zeitintervall enthält weitere Zeitanteile der in Abbildung 6-5 dargestellten Aufgaben (Fehlzustandserkennungszeit und Fehlzustandslokalisierungszeit). Die Fehlzustandserkennungszeit aus [IEC90] ist Bestandteil des Diagnose-Testintervalls gemäß [DIN05c]. Dieses Diagnose-Testintervall sollte so gewählt sein, dass ein Fehler vor dem Auftreten eines nachfolgenden Fehlers, der zu einem gefährlichen Ausfall des Teilsystems führen kann und den Ausfallgrenzwert überschreitet, erkannt wird. Der Kehrwert des Diagnose-Testintervalls ist die Diagnose-Testrate [DIN05c]. Sie beschreibt die Häufigkeit automatischer Tests zur Fehleroffenbarung [DIN08c].
- Die *Fehlzustandsbehebung* ist die Tätigkeit nach der Fehlzustandslokalisierung mit dem Ziel, die Eignung der fehlerhaften Einheit zur Ausführung der geforderten Funktion wiederherzustellen. Dieser Aufgabe ist die Fehlzustands-behebungszeit zugeordnet.
- Die *Funktionsprüfung* ist die Tätigkeit nach der Fehlzustandsbehebung, welche die Bestätigung erbringt, dass die Einheit ihre Eignung zur Durchführung der geforderten Funktion wiedererlangt hat.

Das Zeitintervall zwischen einem Ausfall und der Erkennung eines daraus resultierenden (kritischen) Fehlzustands sollte möglichst kurz sein. Dies wird besonders deutlich vor dem Hintergrund der funktionalen Sicherheit, da sich das Zeitintervall eines unentdeckten Fehlzustands als Gefährdung auswirkt.

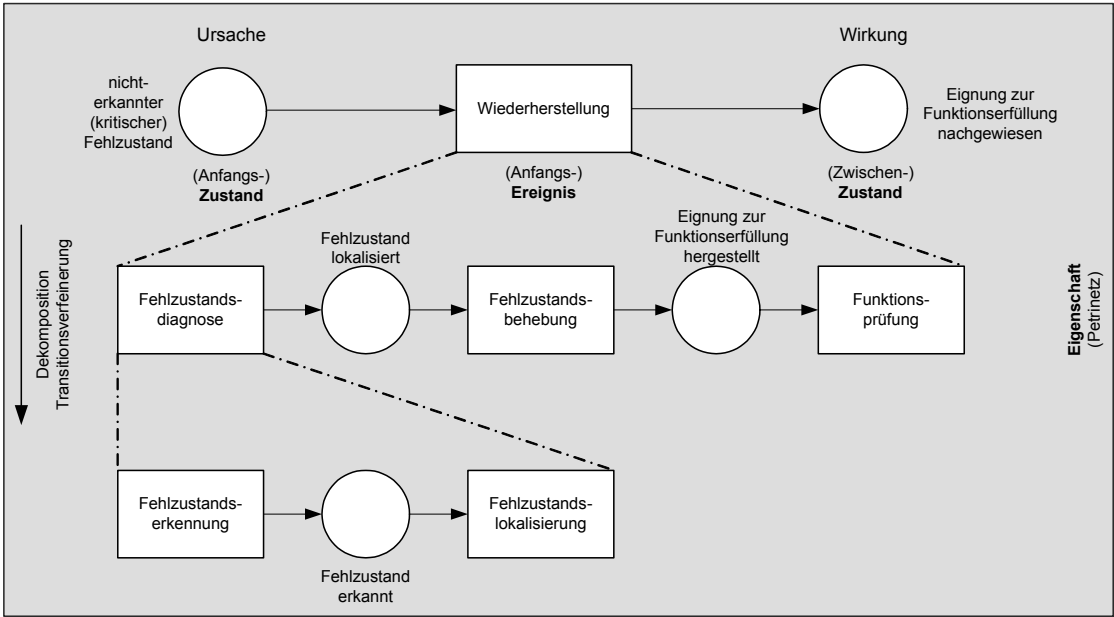


Abbildung 6-5: Teilaufgaben der aktiven Instandsetzung

### 6.3.3 Mittlere Unklarzeit

Ein weiter gefasster Terminus als die *mittlere Zeit bis zur Wiederherstellung* ist die *Unklarzeit* (en: down time). Eine Einheit ist im *Unklarzustand* (en: down state), wenn ein Fehlzustand in Folge eines Ausfalls vorliegt oder die Einheit während der Wartung funktionsunfähig ist. Im Gegensatz zu dem zuvor betrachteten *Zeitintervall bis zur Wiederherstellung* ist somit die für die vorbeugende Instandhaltung (Wartung) benötigte Zeit ein expliziter Bestandteil der Betrachtung. Die *Unklarzeit* als Bestandsdauer des *Unklarzustands* ist eine Zufallsvariable mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilung. Ihr Erwartungswert bezeichnet die *mittlere Unklardauer* (en: mean down time, MDT).

Um die *mittlere Unklardauer* zu erhalten, sind somit die relevanten Zeitanteile der Wartungszeit zur *mittleren Dauer bis zur Wiederherstellung* zu addieren. Die *Wartungszeit* ist der Teil der Instandhaltungszeit, während dessen eine Wartung an einer Einheit durchgeführt wird, eingeschlossen technische und logistische Verzugszeiten. Da aber gerade nicht alle Zeitanteile der *Wartungszeit* einer Nichtverfügbarkeit des Systems entsprechen, weil sie parallel zum Betrieb des Systems erfolgen können, ist eine differenziertere Betrachtung notwendig. Während der eventuell notwendigen logistischen und technischen Verzugsdauern ist das System im funktionsfähigen Zustand und somit verfügbar. Es ist folglich nur die *aktive Wartungszeit* zu berücksichtigen, da das System lediglich während des Zeitraums, an dem die Tätigkeiten an der Einheit durchgeführt werden, nicht funktionsfähig ist.

Davon ausgehend, dass auch die Instandsetzungszeit eine Zufallsvariable ist, lässt sich in Analogie zu der zuvor behandelten Kenngröße der Ausfallwahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion eine Instandsetzungswahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion  $M(t)$  definieren. Die zugehörige Dichte als Instandsetzungs-wahrscheinlichkeitsdichtefunktion  $m(t)$  lässt sich durch die Ableitung der Verteilungsfunktion mathematisch bestimmen. Die Funktion der Instandsetzungs-rate  $\mu(t)$  kann in Analogie zur Ausfallrate mathematisch bestimmt werden [MP03].



Abbildung 6-6 zeigt die formalisierte Darstellung der Merkmale und Größen der Eigenschaft der Instandhaltbarkeit.

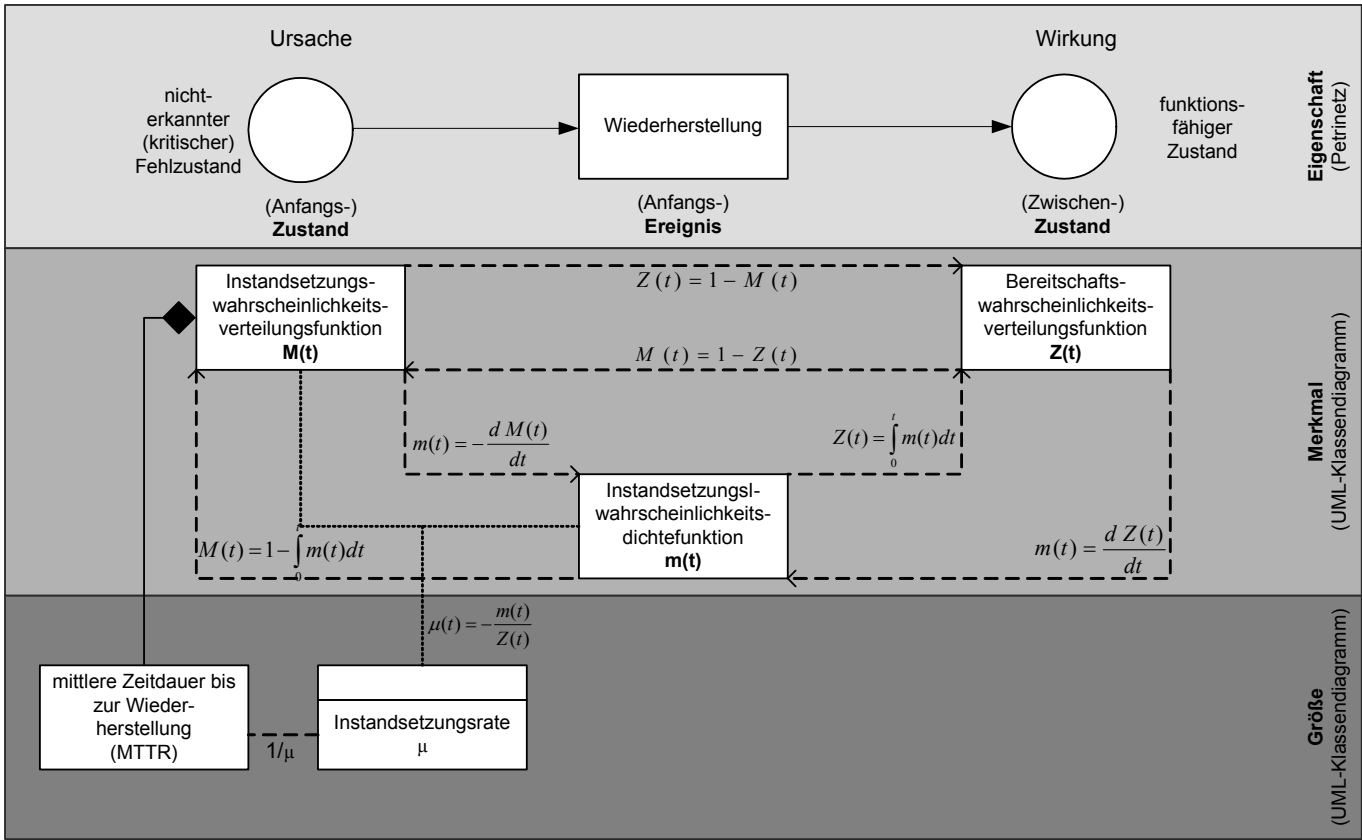


Abbildung 6-6: Instanziierung statischer und dynamischer Aspekte des Instandhaltungsbegriffs

## 6.4 Integration der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit zur Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit ist die „Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen erfüllen zu können, vorausgesetzt, dass die erforderlichen äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind“ [IEC90]. Bereits zuvor ist dargestellt worden, dass die Termini *Ausfall* und *Wiederherstellung* zueinander in Reversitätsrelation stehen. Sie verbinden beide den funktionsfähigen Zustand mit dem Fehlzustand, sind einander jedoch entgegengerichtet (sie stehen in einer Reversitätsrelation zueinander). Die in den Abschnitten 6.2 (Zuverlässigkeit) und 6.3 (Instandhaltbarkeit) formalisierten Teil-Terminologiegebäude können miteinander integriert werden. Das Beschreibungsmittel der Petrinetze ermöglicht es, diese Zustände (Fusionsplätze) zu nutzen, um die beiden Teil-Terminologiegebäude miteinander zu integrieren, sie in gewisser Hinsicht "zusammenzukleben". Dies zeigt Abbildung 6-7.

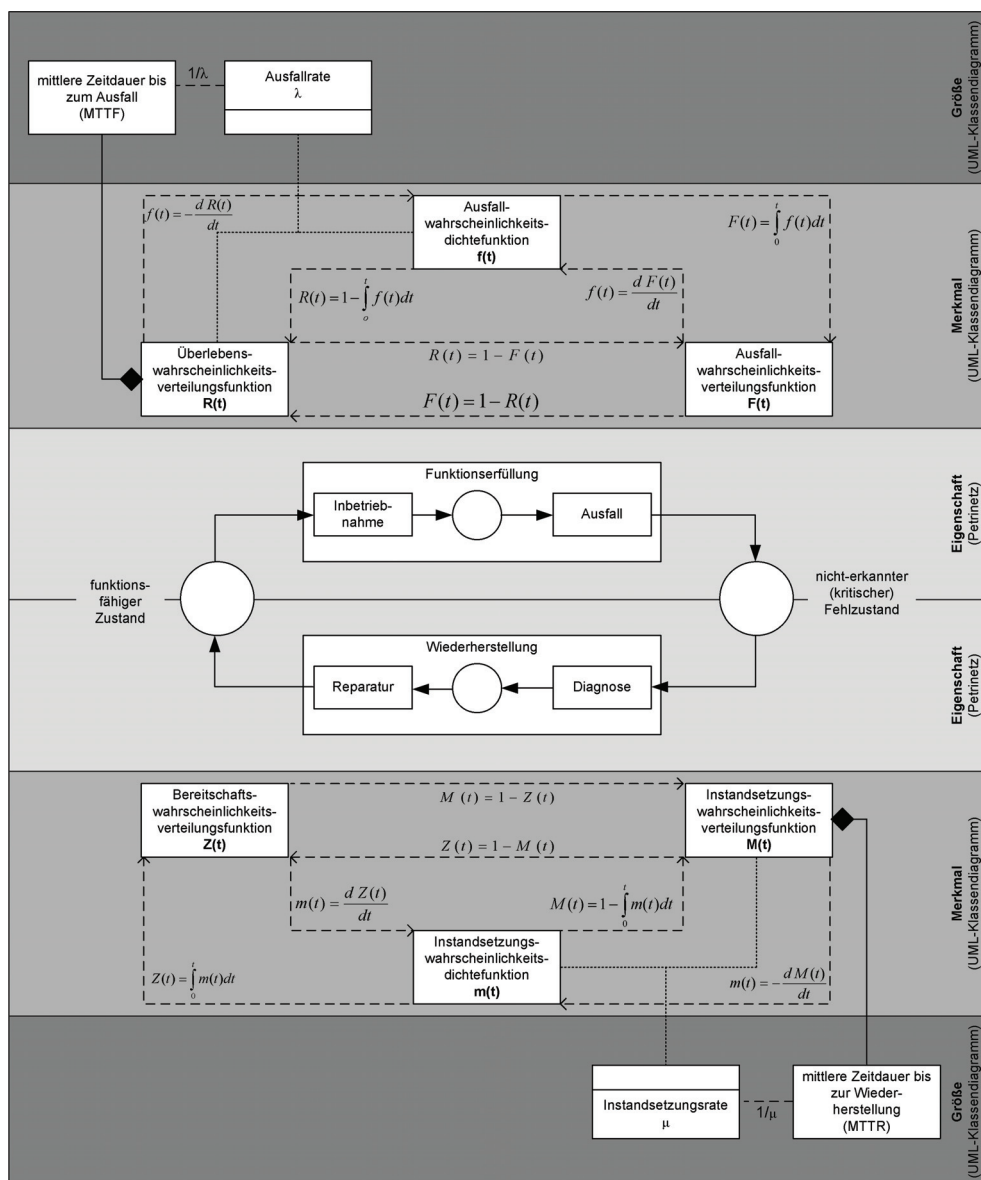


Abbildung 6-7: Integration der Teil-Terminologiegebäude der Zuverlässigkeit und der Instandhaltbarkeit

Bereits zuvor (vgl. Abschnitt 5.1.3) ist der Terminus *Emergenz* eingeführt worden. Sobald sich ein System durch die Wechselwirkung seiner Teile konstituiert, tauchen Eigenschaften auf, die auf der Ebene isolierter Komponenten nicht beobachtbar waren. Es wird nunmehr deutlich, dass die Verfügbarkeit eine emergente Eigenschaft ist, die sich aus dem Zusammenwirken der Komponenten im Systemkontext ergibt. Sie ist ohne Berücksichtigung der Systemstruktur nicht aus den elementaren Eigenschaften der Komponenten (Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit) erklärbar. Neben den Kenngrößen einzelner Komponenten ist die Systemstruktur ein Gestaltungsmerkmal für die bewusste Beeinflussung der Verfügbarkeit. Diese kann beispielsweise durch eine redundante Systemstruktur verbessert werden.

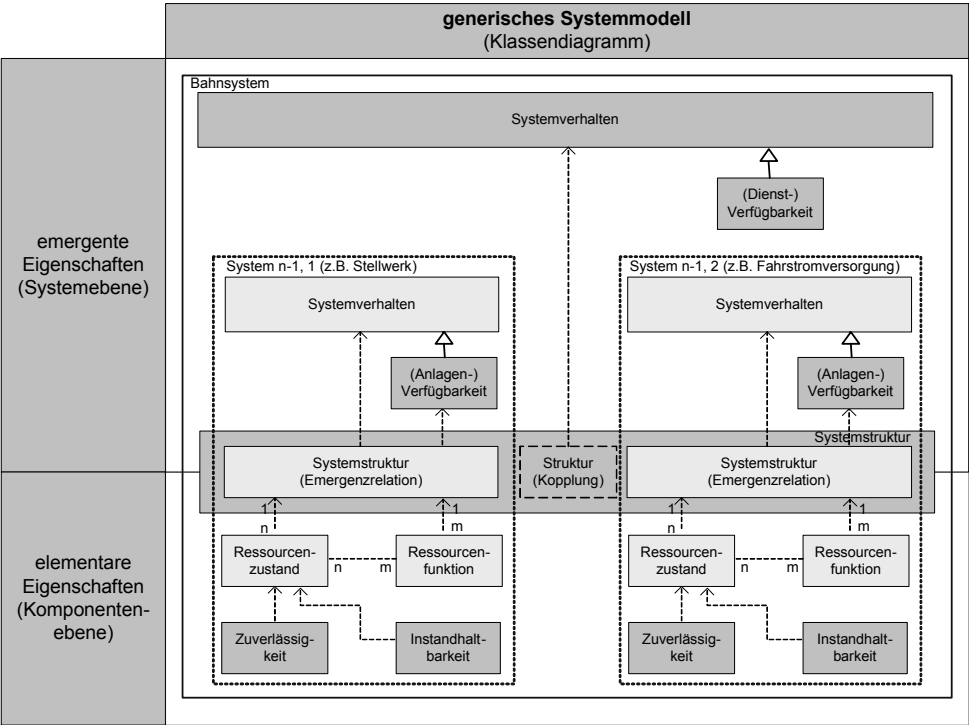


Abbildung 6-8: Verfügbarkeit als Eigenschaft auf verschiedenen Emergenzniveaus

Das Zusammenwirken der Funktionsfähigkeit und der Instandhaltbarkeit wird in den mathematischen Zusammenhängen zur Berechnung der Verfügbarkeit deutlich:

- Unter vereinfachten Bedingungen (beispielsweise einer konstanten Ausfallrate und einer konstanten Instandsetzungsrate) kann die Verfügbarkeit einer Einheit durch das Verhältnis der *mittleren Klardauer* (die sich aus der elementaren Eigenschaft der Zuverlässigkeit bestimmt) zu der Summe der *mittleren Klardauer* und der *mittleren Unklardauer* (die sich aus der Instandhaltbarkeit bestimmt) ausgedrückt werden [IEC90].
- Analog kann die Verfügbarkeit aus dem Verhältnis der *mittleren Dauer bis zum Ausfall* (welche sich aus der Zuverlässigkeit ergibt) zu der Summe der *mittleren Dauer bis zur Wiederherstellung* (welche die Instandhaltbarkeit beschreibt) und der *mittleren Dauer bis zum Ausfall* ausgedrückt werden.

Die zuvor genannten Definitionen für die Verfügbarkeit beschreiben Größen, die der Hersteller durch den Systementwurf bestimmt. Neben diesen *technischen Kenngrößen* gibt es *betriebliche Kenngrößen* für die Verfügbarkeit eines Bahnsystems, wie zum Beispiel die

Pünktlichkeit. Diese wird jedoch innerhalb der bahnbetrieblichen Abläufe durch verschiedene Einflüsse und beteiligte Komponenten bestimmt (Fahrplangestaltung, Instandhaltungsstrategie, Fahrzeuge, Signaltechnik, Stromversorgung, Infrastruktur, externe Störeinflüsse). Da sich diese Eigenschaft dem Modellkonzept des Systems folgend (vgl. Abschnitt 5.1.3) auf einem höheren Emergenzniveau zeigt, kann ein Hersteller nur einer dieser Komponenten niemals eine Pünktlichkeit im Betrieb garantieren, sondern lediglich die Verfügbarkeit seiner Komponente im Allgemeinen und dort im Speziellen die Überlebenswahrscheinlichkeit (vgl. Abschnitt 6.2) und die Instandhaltbarkeit (vgl. Abschnitt 6.3) [Ren00].

## 6.5 Explikation des Sicherheitsbegriffs

In Bezug auf die Sicherheit ist zwischen zwei unterschiedlichen Sichtweisen zu unterscheiden:

- Wird die Umgebung von den Gefahren, die vom System ausgehen, geschützt, wird dies als *Sicherheit* (en: Safety) bezeichnet (vgl. Abschnitt 6.5.4). Grundlegende Dokumente hierfür sind vor allem [DIN05a] und [ISO99b].
- Wird das System vor Gefahren geschützt, so wird dies als *Sicherheit gegen Fremdeinwirkungen* (en: security) bezeichnet (vgl. Abschnitt 6.5.5). Grundlegendes Dokument hierfür ist [ISO09].

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Risikokonzept sowie die Vorgehensweise der Risikobearbeitung gelten für beide Sichtweisen. Sie werden somit der Behandlung der spezifischen Terminologie der Wirkungsabläufe, die in den folgenden Abschnitten erfolgt, vorangestellt.

### 6.5.1 Risiko als abgeleitete Größe

Die technischen Normen vertreten den Standpunkt, dass es keine absolute Sicherheit gibt. Sie ist vielmehr relativ definiert, was direkt auf Akzeptanz- und Aversionsvorgaben hinweist. Sicherheit als Freisein von unvertretbarem Risiko verweist auf die Größe des Risikos. Das Risiko ist eine abhängige Größe [DIN98] und wird bezeichnet als „Kombination der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Schaden auftritt und dem Ausmaß des Schadens.“ [DIN06b]. In dieser Definition wird der Terminus *Risiko* als abgeleitete Größe durch die beiden Größen *Schadensausmaß* und *Schadenshäufigkeit* bestimmt. Das Risiko ist somit als mathematisches Produkt der Erwartungswerte von Schadensausmaß und -häufigkeit definiert und kann durch einen Risikowert quantitativ bestimmt werden [SD08]. Der zur Sicherheit komplementäre Terminus ist der Terminus *Gefahr*. Die Gefahr ist definiert als Sachlage, bei der das Risiko größer als das vertretbare Risiko ist [VDI98].

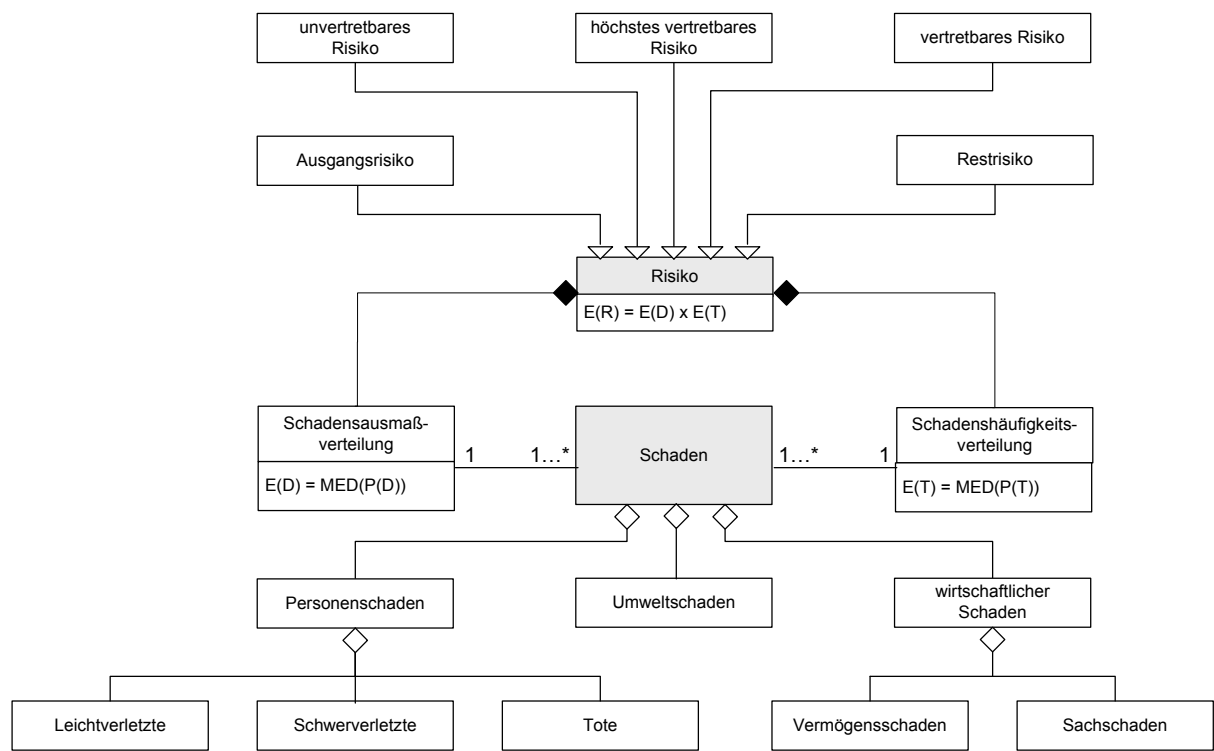


Abbildung 6-9: Terminologischer Zusammenhang zwischen Risiko und Schaden

Um das Risiko zu erklären, bedarf es des Terminus *Schaden*, der als Beeinträchtigung der Gesundheit von Menschen, von Gütern oder der Umwelt definiert ist. Schäden sind Zufallsvariablen und verfügen als solche über eine Verteilung. In Bezug auf das beeinträchtigte Rechtsgut lassen sich die folgenden Schadenstypen identifizieren:

- *Personenschäden* sind tote, schwerverletzte oder leichtverletzte Fahrgäste, Angestellte oder Unbeteiligte. Die Grenzen in einer solchen ordinalen Merkmalsklassifikation sind in verschiedenen Ländern unterschiedlich definiert. Als Beispiel kann die vom Statistischen Amt der Europäischen Gemeinschaften (Eurostat) vorgeschlagene Einteilung gelten [CEN07a], wonach als *Toter* ein Unfallopfer gilt, dessen Tod 30 Tage nach dem Unfall eintritt, wobei der Unfall Hauptgrund für das Versterben sein muss. Eine Person gilt als *schwerverletzt*, wenn sie mehr als 24 Stunden medizinischer Betreuung bedarf. Alle sonstigen Personenschäden sind den *Leichtverletzten* zuzurechnen. Hierunter fallen auch die unter Schock stehenden oder traumatisierten Personen. Andere Möglichkeiten der Klasseneinteilung sind in [DIN05a] genannt.
- *Umweltschäden* beziehen sich nach [CEN07a] auf die Beschädigung benachbarten Eigentums, die Freisetzung schädigender (toxischer) Substanzen oder Feuer. Für Umweltschäden existieren bislang noch keine allgemein akzeptierten Maße.
- *Wirtschaftliche Schäden* beziehen sich nach [CEN07a] allgemein auf wirtschaftliche Einbußen durch die Beeinträchtigung von Vermögensgegenständen. Eine weitere stringente Einteilung erfolgt in [CEN07a] nicht, gelingt jedoch unter Berücksichtigung der geltenden deutschen Rechtsordnung (vgl. [PWW07]). Demnach ist ein *Vermögensschaden* eine Minderung des Wertes immaterieller monetär bewertbarer Vermögensgegenstände des Geschädigten in Folge des schädigenden Ereignisses. Typische Vermögensschäden

sind Vermögensminderungen durch Vereitelung oder Verminderung von Wertschöpfung oder Zugewinn. Beispiele sind sowohl denkbare negative Effekte auf den Geschäfts- oder Firmenwert, welche sich aus dem mit einem Unfall verbundenen Imageverlust ergeben, als auch geringere Umsatzerwartungen durch ein stagnierendes Fahrgastaufkommen in Folge des Unfalls. Ein *Sachschaden* ist die Beschädigung oder Zerstörung materieller Vermögensgegenstände. Der Terminus *Sache* ist im rechtlichen Sinne weit gefasst, so dass Wertminderungen an Grundstücken und Gebäuden, technischen Anlagen und Maschinen, sowie der Betriebs- und Geschäfts-ausstattung unter Sachschäden subsummiert werden können.

### 6.5.2 Vorgehensweise der Risikobearbeitung

Die Sicherheitstechnik sorgt dafür, dass die Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt und das jeweilige Ausmaß möglicher Schäden klein gehalten oder wirkungsvoll gemindert wird. Als Vergleichsmaß hat sich hierfür der zuvor diskutierte Terminus *Risiko* durchgesetzt. Jede Organisation wird in Bezug auf Risiken gelenkt, da diese enorme wirtschaftliche Auswirkungen haben können:

- *Risikomanagement* ist der zentrale Terminus für die Beherrschung von Risiken. Hierunter werden abgestimmte, Chancen und Risiken abwägende Handlungen zur Lenkung und Kontrolle einer Organisation in Bezug auf Risiken bezeichnet [DIN05a]. Dies schließt die Betrachtung finanzieller, sozialer, politischer, kommerzieller, haftungsrechtlicher und anderer Wagnisse mit ein [ISO02b]. In diesem Zusammenhang obliegt es einem Risikomanagement, im Rahmen der Organisationspflicht die Voraussetzungen für eine ordnungsgemäße Behandlung technischer Risiken zu schaffen [DIN05a][ISO09].
- *Risikobearbeitung* hat die Beherrschung technischer Risiken zum Gegenstand und ist somit ein Teil des umfassenderen Risikomanagements einer Organisation. Sie ist ein iteratives Verfahren von *Risikobeurteilung* und *Risikominderung* im Rahmen dessen Schutzmaßnahmen ausgewählt, eingesetzt auf ihre Leistungsfähigkeit hin beurteilt werden.
- *Risikobeurteilung*: Die Risikobeurteilung beantwortet die Frage, ob ein Produkt als sicher betrachtet werden darf. Dieses Ziel ist erreicht, wenn die *Restrisiken* (Risiko, dass nach der Anwendung von Risikobeurteilungen und Risikominderungen verbleibt) das *vertretbare Risiko* (Risiko, das in einem bestimmten Zusammenhang nach den gültigen Wertvorstellungen einer Gesellschaft akzeptiert wird) unterschreitet [DIN05a] [ISO09].
- *Risikominderung*: Hierunter wird das Ergreifen von Maßnahmen, die potenzielle Schadensquellen beseitigen oder das Schadensausmaß verringern verstanden [DIN05a] [ISO09]. Aufgrund der unterschiedlichen Perspektiven (Sicherheit als Schutz der Umwelt vor Systemauswirkungen und Sicherheit gegen Fremdeinwirkungen) unterscheiden sich die ergriffenen Maßnahmen und werden daher in den folgenden Abschnitten dargestellt.

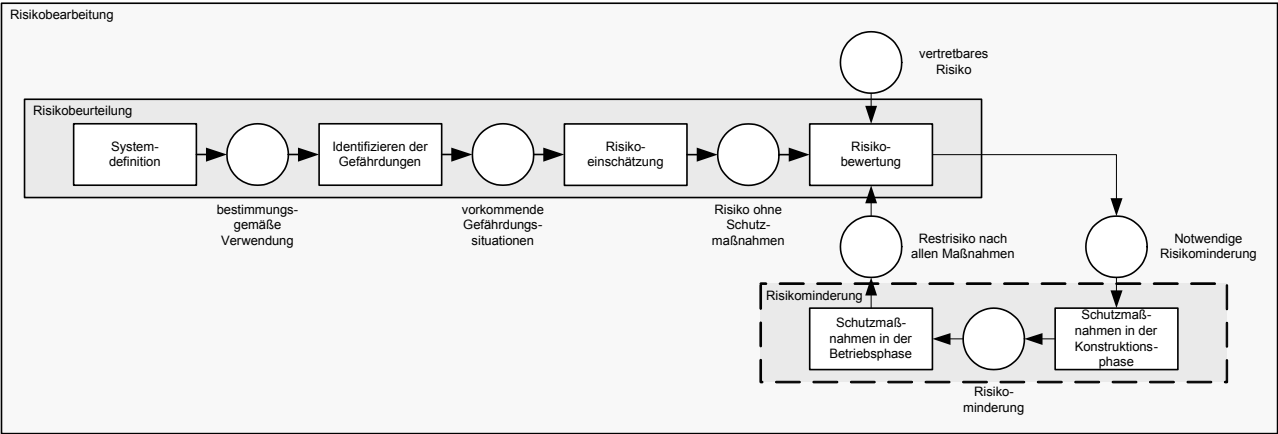


Abbildung 6-10: Vorgehensweise der Risikobearbeitung

6.5.3 Sicherheit als emergente und generische Eigenschaft

Sicherheit ist immer eine Eigenschaft des gesamten Systems und nicht der einzelnen Komponenten, Module, Subsysteme oder anderer nachgeordneter Betrachtungseinheiten. Beispielsweise kann ein zusätzliches Gefährdungspotenzial in den Schnittstellen bei der Verknüpfung sicherer Einheiten zu einem Gesamtsystem (vgl. Abschnitt 5) entstehen. Ebenso ist es möglich, dass von einzelnen sicheren Komponenten keinerlei Gefahren ausgehen, diese jedoch bei deren Zusammenwirken entstehen [Rak02].

Abbildung 6-11 verdeutlicht, dass die Sicherheit aus dem Zusammenwirken der verschiedenen Eigenschaften (dargestellt durch die zuvor erörterten Teilterminologiegebäude) als emergente [Wil00] Eigenschaft entsteht. Hierbei ist die Systemstruktur zu beachten, da durch die strukturelle Kopplung verschiedener Komponenten im Kontext des Gesamtsystems dieses gegebenenfalls die geforderte Funktion auch dann noch erfüllt, wenn Fehlzustände bei speziellen, bezeichneten Untereinheiten entstehen (so genannte Fehlzustandstoleranz). Die Systemstruktur tritt somit als gleichwertiges Gestaltungsmerkmal neben die grundlegenden auf Komponentenebene wirkenden Eigenschaften der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit. Redundanz als Vorhandensein von mehr als einem Mittel in einem System zur Ausführung einer geforderten Funktion ist ein konkretes Beispiel dafür, wie die Systemstruktur zu einer Verbesserung der emergenten Eigenschaft der Sicherheit und analog zur Verfügbarkeit beitragen kann.

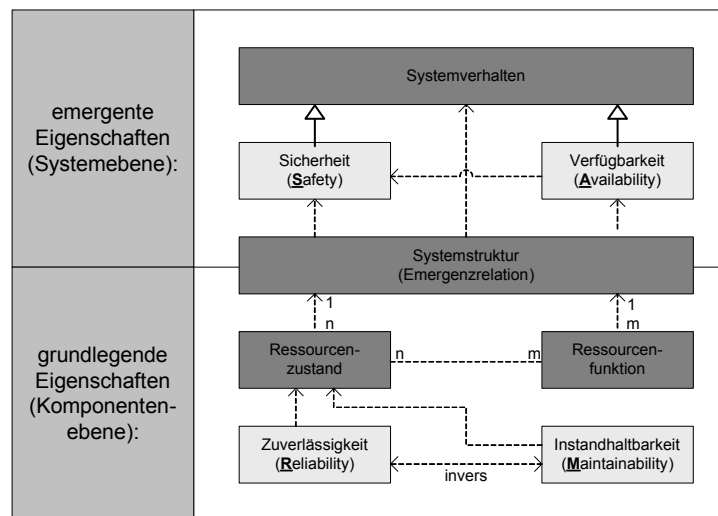


Abbildung 6-11: Sicherheit als emergente Eigenschaft

Abbildung 6-11 zeigt ebenfalls den Zusammenhang zwischen der Verfügbarkeit und der Sicherheit. Die betrieblichen Regelwerke der Bahnen sehen Möglichkeiten zur ersatzweisen Betriebsführung im Störfall vor. Im Sinne des zuvor dargestellten Modellkonzepts der Funktions- und Ressourcenallokation (vgl. Abschnitt 5.2) ändert sich mit dem Übergang auf die betriebliche Rückfallebene die Systemkonfiguration. Die technologieinvarianten Sicherungsfunktionen [Mey04] werden nunmehr vom Betriebspersonal (Triebfahrzeugführer, Fahrdienstleiter, örtliche Mitarbeiter) wahrgenommen. Der Mensch übernimmt somit im Störfall die Sicherheitsverantwortung. Ein maßgebendes Kriterium zur Einschätzung der Sicherheit sind die maximalen Folgen einer einzelnen Fehlhandlung. Darüber hinaus ist die höhere Wahrscheinlichkeit von Fehlhandlungen der am Betrieb Beteiligten durch das Handeln in Stresssituationen zu berücksichtigen. [Pa00] stellt dies anhand des Beispiels betrieblicher Rückfallebenen auf Strecken mit selbsttätigem Streckenblock dar.

#### 6.5.4 Schutz der Umwelt vor Systemauswirkungen (Safety)

Die Sicherheitstechnik setzt voraus, dass Risiken kausal begründet sind. Es wird hier der Versuch unternommen, ein generisches Wirkmodell für den Schadensablauf zu postulieren, auch wenn die kausalen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Zuständen in [DIN05a] und [ISO99b] nicht explizit enthalten sind. Abbildung 6-12 stellt daher den Entwurf einer formalisierten Darstellung des in [DIN05a] und [ISO99b] natürlichsprachlich (und teilweise widersprüchlich) dargestellten Wirkmodells dar.

- Eine *potenzielle Gefährdung* ist eine Situation, welche die Entwicklungsmöglichkeit zu einer Gefährdung aufweist. Diese Möglichkeit, wird jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht ausgeschöpft. Dieser Terminus ist in [DIN05a] nicht definiert.
- Das *Gefährdungsereignis* ist ein Ereignis, das einen Schaden hervorrufen kann [DIN05a], es jedoch nicht muss. Aus dem Gefährdungsereignis resultiert die *Gefährdung*. Das Gefährdungsereignis als Übergang von der potenziellen Gefährdung in den Zustand einer Gefährdung kann mit einer Auftretensrate attribuiert werden. Diese Werte können



zum einen empirisch durch die Betriebserfahrung (Ermittlung aus statistischen Daten der im Bezugszeitraum erbrachten Betriebsleistung und der aufgetretenen Gefährdungen) oder auf der Basis einer theoretischen Sicherheitsanalyse [Bra08b] ermittelt werden.

- Die *Gefährdung* ist eine Situation mit Schadenspotenzial nach [DIN05a]. Dieser Umstand kann sich somit zu einem Schaden auswirken, wenn sie zeitlich und räumlich mit den unbeeinträchtigten Rechtsgütern zusammentrifft und somit eine Gefährdungssituation konstituiert.
- Die *Gefährdungssituation* konstituiert sich gemeinsam durch das Zusammentreffen der Gefährdung und den unbeeinträchtigten Rechtsgütern (Mensch, Güter, Umwelt). In einer Gefährdungssituation sind Menschen, Güter und Umwelt einer oder mehreren Gefährdungen ausgesetzt [DIN05a].
- Das *Schadensereignis* tritt nur dann ein, wenn eine Gefährdungssituation als Koinzidenz von Gefährdung und unbeeinträchtigten Rechtsgütern vorliegt [DIN05a]. Hierbei ist für die Quantifizierung einer Schadens-eintrittswahrscheinlichkeit die Möglichkeit der Gefährdungsexposition des betreffenden Personenkreises und der anderen Rechtsgüter zu berücksichtigen.
- Der Terminus *Schaden* umfasst ganz allgemein die Minderung bestehender Rechtsgüter. Dieser Terminus ist bereits zuvor bei den Ausführungen zum Risiko in seinen verschiedenen Ausprägungen dargestellt worden.

Die Schutzmaßnahmen, die bereits in der Konstruktion durchzuführen sind, werden in den anerkannten Regeln der Technik näher spezifiziert. Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik umfassen Hardware- und Softwareaspekte. Für den Aufbau vollständiger sicherheitsrelevanter Systeme sind beide Teile gleichwertig zu betrachten:

- Die Norm [DIN01c] konzentriert sich auf die anzuwendenden Verfahren, Techniken und Maßnahmen, um *Software* zu entwickeln, welche die durch übergeordnete Betrachtungen (Risikobeurteilungen) an sie gestellten Sicherheitsanforderungen erfüllt.
- Die Norm [DIN03c] definiert die Anforderungen an *sicherheitsrelevante Hardware*. Es werden Ausfallarten auf Bauteilebene genannt und Gestaltungsprinzipien aufgeführt, die beim Eintreten einer Fehlfunktion gewährleisten, dass ein sicherer Zustand eingenommen und beibehalten wird.

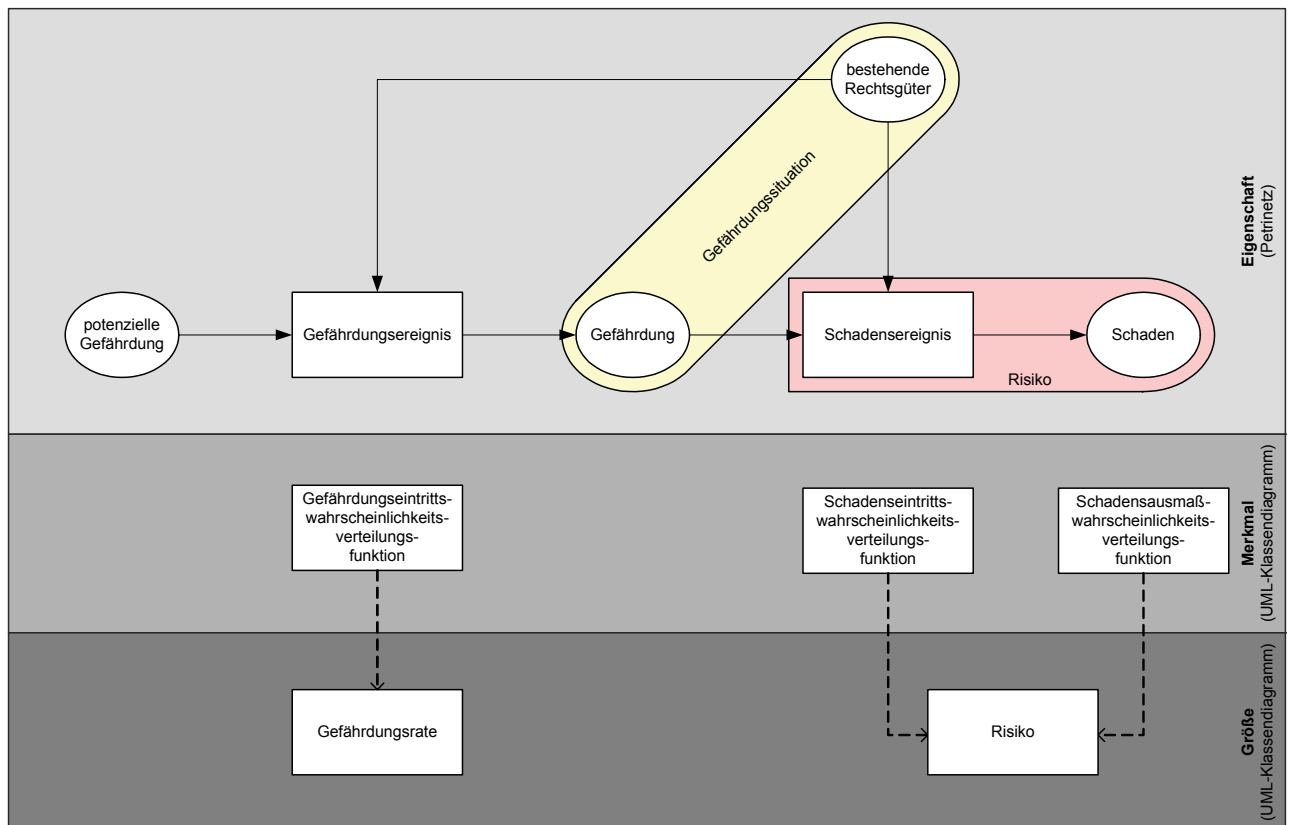


Abbildung 6-12: Wirkmodell des Schadensablaufs - Sicherheit

### 6.5.5 Schutz des Systems vor Fremdeinwirkungen (Security)

Auch für den Bereich der Sicherheit gegen Fremdeinwirkungen setzt die Sicherheitstechnik voraus, dass die Risiken kausal begründet sind. Es wird auch hier der Versuch unternommen, ein generisches Wirkmodell für den Schadensablauf zu postulieren, auch wenn die kausalen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Zuständen in [ISO09] nicht explizit enthalten sind. Abbildung 6-13 stellt daher den Entwurf einer formalisierten Darstellung des in [ISO09] natürlichsprachlich (und teilweise widersprüchlich) dargestellten Wirkmodells dar. Die in Abbildung 6-13 verwendeten Termini werden nachfolgend erläutert:

- Eine *potenzielle Bedrohung* (en: *potential threat*) ist eine Situation, welche die Entwicklungsmöglichkeit zu einer Bedrohung aufweist. Diese Möglichkeit wird jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht ausgeschöpft. Dieser Terminus ist in [ISO09] nicht vorgesehen und definiert, wird aber für die Vollständigkeit des Terminologiegebäudes vorgeschlagen.
- Der *Angriff* (en: *attack*) ist ein Verhalten, welches sich gegen die zu schützenden Rechtsgüter richtet. Durch den Angriff realisiert sich die potenzielle Bedrohung. In der Kryptographie wird unter einem Angriff der Versuch verstanden, ein Verschlüsselungssystem zu brechen. Dieser Terminus ist in [ISO09] nicht vorgesehen oder definiert und wird ebenfalls für die Vollständigkeit des Terminologiegebäudes vorgeschlagen.
- Die *Bedrohung* (en: *threat*) ist in Anlehnung an [ISO99b] als eine „potenzielle Schadensquelle“ definiert.

- Als *Krise* (en: *crisis*) wird „eine vom Normalzustand abweichende Situation, in der die Existenz oder das Leben und die Gesundheit von Personen gefährdet sind“ bezeichnet [BSI08] ([ISO09] analog). Die Krise wird hier äquivalent zum Terminus *Gefährdungssituation* in [DIN05a] aufgefasst. Sie ist somit eine Koinzidenz der Gefährdung und der Anwesenheit der unbeeinträchtigten Rechtsgüter. Um diese Korrespondenz zum Terminologiegebäude der Sicherheit (vgl. Abschnitt 6.5.4) stärker zum Ausdruck zu bringen, wird in dieser Arbeit die Benennung „Bedrohungssituation“ vorgeschlagen.
- Ein *Notfall* (en: *emergency*) ist „ein Schadensereignis, bei dem Prozesse oder Ressourcen nicht wie vorgesehen funktionieren. Die Verfügbarkeit der entsprechenden Prozesse ist stark beeinträchtigt. Es entstehen hohe bis sehr hohe Schäden, die sich signifikant und in nicht akzeptablem Rahmen auf das Gesamtergebnis eines Unternehmens auswirken“ [BSI08] ([ISO09] analog).
- Eine *Katastrophe* (en: *disaster*) ist „ein Schadenszustand, der zeitlich und örtlich kaum begrenzt ist und großflächige Auswirkungen auf Menschen, Werte und Sachen haben kann. Die Existenz der Institution oder das Leben und die Gesundheit von Personen sind gefährdet. Auch das öffentliche Leben wird stark beeinträchtigt. Eine Katastrophe kann nicht ausschließlich durch die Institution selbst behoben werden“ [BSI08] ([ISO09] analog). Die Katastrophe ist somit eine spezielle Instanz des Schadens, welcher hinsichtlich seines Ausmaßes näher beschrieben wird.

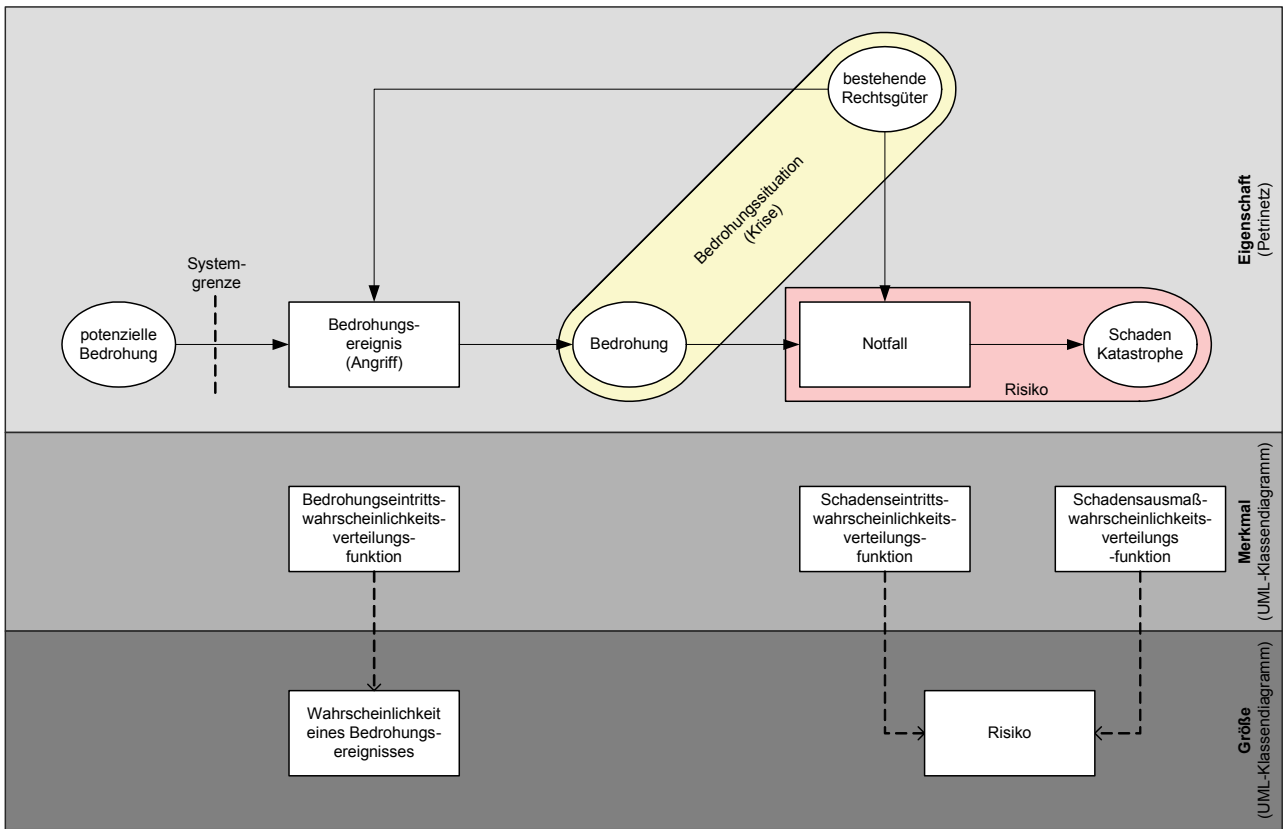


Abbildung 6-13: Wirkmodell des Schadensablaufs - Sicherheit gegen Fremdeinwirkungen

Aufgrund der Vielfalt potenzieller Bedrohungen, die auf ein System einwirken können, wird hier exemplarisch der Schutz der Datenkommunikation vor Angriffen von außen dargestellt. Ein Beispiel für Schutzmaßnahmen, die bereits in der Konstruktion ergriffen werden können, ist der Schutz vor bösartigen Angriffen, die zum Beispiel innerhalb eines offenen Kommunikationssystems nicht ausgeschlossen werden können. Wenn nicht-authorisierte Zugriffe nicht ausgeschlossen werden, können bösartige Angriffe zwar nicht verhindert, zumindest jedoch entdeckt und in ihren Auswirkungen begrenzt werden. Es werden hierfür in [DIN03c] Maßnahmen, wie beispielsweise die Anwendung kryptographischer Schlüssel, gefordert.

## 6.6 Kontrolliertes zweisprachiges Vokabular der Sicherheit

In diesem Abschnitt erfolgt eine geordnete Darstellung der Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme auf der Grundlage der im Rahmen der zuvor durchgeführten methodischen Strukturierung gewonnenen Erkenntnisse. Im Mittelpunkt stehen hierbei nach bestimmten Merkmalen gegliederte Fachwort- und Definitionssammlungen, welche für die Zwecke der Textproduktion und -rezeption von erheblicher praktischer Bedeutung sind.

### Auflösung von Mehrfachbenennungen (Synonymiekontrolle)

Der angestrebte präskriptive Charakter der Definitionssammlung erfordert, dass ein bestimmter Sprachgebrauch festgelegt wird. Bislang beziehungslos nebeneinander stehende Worte werden zu begrifflichen Einheiten, den *Äquivalenzklassen*, geordnet. In ihnen sind alle für den Geltungsbereich einer Terminologie vorhandenen Benennungen mit gleicher Bedeutung zusammengefasst [SS08a]. Im Sinne einer präskriptiven Vorgabe wird der angestrebte Gebrauch der in einer Äquivalenzklasse zusammengefassten Benennungen durch das zusätzliche Attribut ihres normativen Status ergänzt. In Anlehnung an [Pre06] werden die Benennungen wie folgt attribuiert:

- *bevorzugt*: Die gebräuchlichste Benennung einer Äquivalenzklasse erhält die Vorrangstellung [SS08a]. Die exklusive Verwendung dieser Benennung ist von der Norm intendiert. Abkürzungen sind nicht als bevorzugte Benennung zugelassen.
- *zugelassen*: Benennungen, deren Verwendung neben der Vorzugsbenennung zwar zulässig ist, jedoch nach Möglichkeit vermieden werden sollte. Diese Benennungen sind eventuell nicht gebräuchlich oder im Vergleich zu bevorzugten Benennung weniger präzise, einprägsam oder widersprüchlich.
- *abgelehnt*: Benennungen, die nicht verwendet werden dürfen.

Ausweisung fremdsprachiger Äquivalente

Einsprachige Definitionssammlungen vermitteln den Experten Klarheit über die Terminologie des entsprechenden Fachgebietes. Aufgrund des zunehmenden internationalen Beziehungsgeflechts sind mehrsprachige Definitionssammlungen von besonderer Bedeutung, um Sprachbarrieren innerhalb einer Wissensdomäne oder eines multinationalen Unternehmens zu umgehen. Ihre Güte hängt in erster Linie davon ab, wie fachgerecht das Äquivalenzproblem (vgl. Abschnitt 4.3.2) gelöst wurde und die Termini der verschiedenen Sprachen einander zugeordnet wurden. Durch die formale Basis der terminologischen Strukturierung ist eine Vergleichbarkeit gegeben, so dass hier befriedigende Ergebnisse erzielt werden können.

6.6.1 Deutschsprachiges kontrolliertes Vokabular

	Benennung (DE)	äquivalente Benennung (EN)	Definition (DE)
bevorzugte Benennung	fehlerfreier Zustand [VDI 3542-1]	Fault-free state [VDI 3542-1]	- nicht definiert -
bevorzugte Benennung	Gefährdungsereignis [DIN-Fachbericht 144], [DIN EN 1050]	hazardous event [EN 1050]	„Ereignis, das einen Schaden hervorrufen kann“ [DIN-Fachbericht 144; 3.12]
zugelassene Benennung	Kritischer Ausfall [IEC 60050-191; 04-02]	Critical failure [IEC 60050-191; 04-02]	Ausfall, der als wahrscheinlich eingestuft wird, Personenschäden, beträchtliche Sachschäden oder andere unvermeidbare Folgen zu verursachen.“ [IEC 60050-191; 04-02]
	gefährdender Ausfall [DIN IEC 62061] [VDI 3542-1]	dangerous failure [IEC 62061] [VDI 3542-1]	„jede Fehlfunktion in der Maschine, in ihrer Energieversorgung oder in ihrem Steuerungssystem, die eine Gefährdung erzeugt“
	unerwünschtes Ereignis [DIN V 19250]	- kein englischsprachiges Äquivalent -	„Ein unerwünschtes Ereignis ist ein Fehlzustand einer Betrachtungseinheit, der zu einem Schaden führen kann.“ [DIN V 19250; 2.8]
bevorzugte Benennung	Gefährdung [DIN EN 61508-4] [DIN EN 50129] [DIN-Fachbericht 144]	Hazard [IEC 61508-4; 3.5] [EN 50129] [IEC Guide 51]	„potentielle Schadensquelle“ [DIN EN 61508-4; 3.5]
			„Quelle mit Schadenspotenzial“ [DIN-Fachbericht 144, 3.3]
			„Bedingung, die zu einem Unfall führen kann“ [DIN EN 50129:2003; 3.1.21]
zugelassene Benennung	kritischer Fehlzustand [IEC 60050-191; 05-02]	Critical fault [IEC 60050-191; 05-02]	„Fehlzustand, der als wahrscheinlich eingestuft wird, Personenschäden, beträchtliche Sachschäden oder andere unvermeidbare Folgen zu verursachen.“ [IEC 60050-191; 05-02]
	sicherheitsbezogener Fehlzustand [VDI 3542-1]	safety-related fault	- nicht definiert -
	gefährlicher Zustand [DIN EN 13306]	hazardous state [DIN EN 13306]	„Zustand einer Einheit, bei dem das Eintreten von Personenschäden, beträchtlichen Sachschäden oder anderer unvermeidbarer Folgen wahrscheinlich ist.“
bevorzugte Benennung	Schadensereignis [DIN 820]]	Harmful event [IEC-Guide 51]	„Vorkommnis, bei dem eine Gefährdungssituation zu einem Schaden führt“ [DIN 820-12; 3,4]
zugelassene Benennung	Unfall [DIN EN 50129]	accident [EN 50129]	„ein nicht beabsichtigtes Ereignis oder eine Reihe von Ereignissen mit der Folge von Toten, von Verletzten, des Verlustes eines Systems oder von Umweltschäden“ [DIN EN 50129:2003; 3.1.1]
	gefährlicher Vorfall [DIN EN 61508-4]	hazardous event [IEC 61508-4]	„Gefährdungssituation, die zu einem Schaden führt.“ [DIN EN 61508-4; 3.1.4]
bevorzugte Benennung	Schaden [DIN 820] [DIN EN 61508-4]	Harm [IEC Guide 51] [IEC 61508-4]	„physische Verletzung oder Schädigung der Gesundheit von Menschen oder Schädigung von Gütern oder der Umwelt“ [DIN 820-120; 3.3]
			„physische Verletzung oder Schädigung der Gesundheit von Menschen; entweder direkt oder indirekt als ein Ergebnis von Schäden von Gütern oder der Umwelt.“[DIN EN 61508-4; 3.1.1]
bevorzugte Benennung	Wiederherstellung [IEV 191-07-25]	Restoration / recovery [IEV 191-07-25]	„Ereignis, bei dem die Einheit ihre Eignung, die geforderte Funktion durchzuführen, nach einem Fehlzustand wiedererlangt.“ (IEV 191-07-25)

Tabelle 6-5: Deutschsprachiges kontrolliertes Vokabular der Sicherheit

## 6.6.2 Englischsprachiges kontrolliertes Vokabular

	Benennung (EN)	äquivalente Benennung (DE)	Definition (EN)
bevorzugte Benennung	<b>fault-free state</b> [VDI 3542-1]	<b>fehlerfreier Zustand</b> [VDI 3542-1]	- nicht definiert -
bevorzugte Benennung	<b>hazardous event</b> [EN 1050]	<b>Gefährdungsereignis</b> [DIN-Fachbericht 144], [DIN EN 1050]	„event that can cause harm“ [EN 1050; 3.2]
zugelassene Benennung	critical failure [IEC 60050-191; 04-02]	Kritischer Ausfall [IEC 60050-191; 04-02]	„a failure which is assessed as likely to result in injury to persons, significant material damage or other unacceptable consequences“ [IEC 60050-191; 04-02]
	dangerous failure [IEC 62061] [VDI 3542-1]	gefährbringender Ausfall [DIN IEC 62061] [VDI 3542-1]	„failure of a SRECS, a subsystem, or a subsystem element that has the potential to cause a hazard or non-functional state“
	- kein englischsprachiges Äquivalent -	unerwünschtes Ereignis [DIN V 19250]	- nicht definiert -
bevorzugte Benennung	<b>hazard</b> [IEC 61508-4; 3.5] [EN 50129] [IEC Guide 51]	<b>Gefährdung</b> [DIN EN 61508-4] [DIN EN 50129] [DIN-Fachbericht 144]	„potential source of harm“ [IEC 61508-4; 3.5] [IEC Guide 51; 3.3]
			„A condition that could lead to an accident“ [EN 50129; 3.1.21]
zugelassene Benennung	critical fault [IEC 60050-191; 05-02]	kritischer Fehlzustand [IEC 60050-191; 05-02]	„a fault which is assessed as likely to result in injury to persons, significant material damage, or other unacceptable consequences“ [IEC 60050-191; 05-02]
	safety-related fault	sicherheitsbezogener Fehlzustand [VDI 3542-1]	- nicht definiert -
	hazardous state [DIN EN 13306]	gefährlicher Zustand [DIN EN 13306]	„state of an item assessed as likely to result in an injury to persons, significant material damage or other unacceptable consequences“ [DIN EN 13306; 6.15]
bevorzugte Benennung	<b>harmful event</b> [IEC-Guide 51]	<b>Schadensereignis</b> [DIN 820]]	„occurrence in which a hazardous situation results in harm.“ [ISO/IEC Guide 51; 3.4]
zugelassene Benennung	accident [EN 50129]	Unfall [DIN EN 50129]	„an unintended event or series of events, that results in death, injury, loss of a system or service or environmental damage“ [EN 50129; 3.1.1]
	hazardous event [IEC 61508-4]	gefährlicher Vorfall [DIN EN 61508-4]	„hazardous situation which results in harm“ [IEC 61508-4; 3.1.4]
bevorzugte Benennung	<b>harm</b> [IEC Guide 51] [IEC 61508-4]	<b>Schaden</b> [DIN 820] [DIN EN 61508-4]	„physical injury or damage to the health of people, or damage to property or the environment.“ [ISO/IEC Guide 51, 3.3]
			„physical injury or damage to the health of people either directly or indirectly as a result of damage to property or to the environment.“ [IEC 61508-4; 3.1.1]
bevorzugte Benennung	<b>restoration / recovery</b> [IEV 191-07-25]	<b>Wiederherstellung</b> [IEV 191-07-25]	„That event when the item regains the ability to perform a required function, after a fault“ [IEV 191-07-25]

Tabelle 6-6: Englischsprachiges kontrolliertes Vokabular der Sicherheit



## 7 Konzeption und Implementierung eines integrativen Terminologiemanagementsystems

Eine konsistente Terminologie ist in der industriellen Praxis von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Erst eine gemeinsame terminologische Grundlage ermöglicht eine effektive Bearbeitung der Aufgaben in der Systementwicklung und hilft, Fehl-leistungskosten zu verringern oder zu vermeiden. Im Rahmen von Produktivitäts-maßnahmen werden Ansätze zur Harmonisierung und Standardisierung von Glossaren und zu deren Integration in entwicklungsbegleitende Werkzeuge verfolgt.

Im vorliegenden Kapitel werden zunächst bestehende Ansätze und Werkzeuge der Wissensrepräsentation aufgezeigt und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert (Abschnitt 7.1). Auf der Grundlage dieses Überblicks werden die Anforderungen an die technologische Konzeption eines integrativen Terminologie-managementsystems definiert, welches hier als IGLOS (Akronym für "intelligentes Glossar") bezeichnet wird und als Werkzeug der Erarbeitung einer stringenten Terminologie konzipiert wird. Dieser Ansatz eines integrativen Terminologiemanagementsystems wird in Abschnitt 7.2 entwickelt.

Die grundlegenden Nutzerrollen des Terminologen, Administrators und Informationssuchenden des Werkzeugs werden identifiziert (Abschnitt 7.3). Jede dieser Rollen hat eine andere Perspektive auf die Informationsmodellierung (vgl. Abschnitt 2.2.1) und damit auf das zu entwickelnde Werkzeug, was in der Spezifikation seiner funktionalen Anforderungen deutlich wird.

Die rollenspezifisch identifizierten Anforderungen fließen in das eigentliche Realisierungskonzept des IGLOS ein. Es wird der Systementwurf vorgestellt (Abschnitt 7.4) und exemplarisch erläutert, wie die zuvor identifizierten Anforderungen umgesetzt werden.

### 7.1 Repräsentation und Organisation von Terminologien

Terminologien sind oftmals lediglich implizit in einer Branche vorhanden, ohne jedoch eindeutig dokumentiert zu sein. Daher ist in den meisten Forschungs- und Industrieprojekten mit mehreren Partnern am Anfange eine Phase der Terminologiebestimmung zu durchleben. Ergebnisse dieser Phase sind oftmals Glossare in Form von Tabellen oder Dokumenten, in denen die Termini, ihre Beschreibungen und eventuell noch ihre Quelle hinterlegt werden.

Der Gegenstandsbereich des Schienenverkehrs beispielsweise verfügt über einen eigenen Fachwortschatz als Gesamtbestand an Termini. Für die Fachleute dieses Fachgebiets ist es von essentieller Bedeutung, dass alle mit einer Benennung die gleichen Inhalte assoziieren. In der Vergangenheit hat sich eine Zahl an Glossaren entwickelt, die meist unabgestimmt sind und inhaltlich den Bereich von Abkürzungsverzeichnissen bis hin zu umfangreicheren terminologischen Erläuterungen abdecken. Sie können wegen ihres unspezifischen Fokus, vorhandener Unschärfen, lückenhaften Umfangs, fehlender Modellgrundlage oder schwieriger Rezeption allerdings nicht als Referenz in Projekten oder für den fachlichen Diskurs verwendet werden. Tabelle 7-1 stellt verschiedene Terminologie-gebäude des



Schienenverkehrs gegenüber und zeigt, wie die Termini innerhalb der Terminologiegebäude miteinander in Beziehung stehen, auf welche Beschreibungsmittel hierbei zurückgegriffen wird und in welchen Medien diese repräsentiert sind.

7.1.1 Repräsentationsmedien von Terminologien

Medien werden als Kommunikationskanäle aufgefasst, die in der Lage sind, Zeichensysteme zu transportieren [Sax99]. Mit diesen Kommunikationskanälen wird es möglich, Bedeutungsträger in einer bestimmten Bereitstellungsqualität zu übermitteln. Die Bereitstellungsqualität umfasst „im Wesentlichen neben dem mediumsspezifischen Zeichensystem die jeweiligen Inhalte, die Technik des Bereitstellungsvorgangs, von der Periodizität der Produktion bis zu ihren Formaten, die Bereitstellungsräume und -kosten“ [Sax99].

Quelle	Relation	Beschreibungsmittel	Repräsentationsmedium
Fachlexikon für Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb [PN02]	Terminologiefeld: kein Terminologiegebäude im engeren Sinne, einsprachig (deutsch)	textuell: alphabetische Ordnung dem Begriffsfeld zugeordneten Begriffsbenennungen	Printmedium
Signal- und Sicherungseinrichtungen für das Eisenbahnwesen [IEC98]	Terminologiefeld: kein Terminologiegebäude im engeren Sinne, mehrsprachig	textuell: Benennungen in mehreren Sprachen	Printmedium
UIC Rail Lexic [UIC01]	Terminologiefeld: kein Terminologiegebäude im engeren Sinne, mehrsprachig	textuell: Benennungen in mehreren Sprachen	CD-ROM
Communication-based Train Control (CBTC) [IEE99]	Bestandsbeziehung	Nummerung	Printmedium
Kennzeichnungssystematik für Schienenfahrzeuge: [DIN03b]	Bestandsbeziehung	grafisch: einfaches Felderdiagramm	Printmedium
Betriebsleit- und Zugsicherungssysteme für den städtischen schienengebundenen Personennahverkehr [IEC06]	Bestandsbeziehung	grafisch: Kreuztabelle	Printmedium
Übersicht generischer Funktionen [Mey04]	Bestandsbeziehung	grafisch: Kreuztabelle	Printmedium
Generisches formales Referenzmodell für Eisenbahnleit- und -sicherungssysteme [Mey04]	sequentielle Bedeutungsbeziehung (kausal)	grafisch: gefärbtes Petrinetz	Petrinetzeditor
InteGRail	Semantisches Netz	formal in OWL	Internet und Ontologieeditor

Tabelle 7-1: Repräsentationsformen von Terminologien

## Printmedien

Das wichtigste Printmedium für die Terminologearbeit ist das *Fachwörterbuch*. Es beschreibt mit der Terminologie eines Fachgebiets den Gesamtbestand der in einer Fachsprache verwendeten Termini. Das Fachgebiet umschreibt hierbei das Terminologiefeld als die Menge von Termini, die zueinander wegen ihres thematischen Zusammenhangs in Beziehung stehen. Innerhalb des Fachwörterbuchs stellen Wörterbucheinträge eindeutige Zuordnungen zwischen Begriffen und ihrer Benennung dar. Der einzelne Wörterbucheintrag enthält hierbei die Definition als Bedeutungsfestlegung mit sprachlichen Mitteln. Normen sind ebenfalls klassische Printmedien. Gleiches gilt häufig auch für projektspezifisch erstellte Glossare in der industriellen Praxis. Für die Printmedien lassen sich die folgenden Defizite konstatieren:

- Die terminologischen Einträge sind oftmals nur alphabetisch geordnet dargestellt. Die systematischen Zusammenhänge zwischen den eingeführten Termini werden nicht deutlich.
- Es gibt ausdifferenzierte Erschließungshilfen für lineare Texte wie Inhaltsverzeichnisse, Indizes, Querverweise und Fußnoten, jedoch müssen die Verweisziele vor Ort präsent sein (im Gegensatz zur universellen Verfügbarkeit von Informationen im Internet). Das Verfolgen der Verweise ist nicht automatisiert und damit bisweilen sehr zeitaufwändig (im Gegensatz zur Organisation und technischen Implementierung von Wissen als Hypertext).
- Der reale und überwiegend nicht genormte Sprachgebrauch kann nur zum Teil in gedruckten Wörterbüchern oder Glossaren erfasst werden. Gerade in der Übersetzung von Fachsprachen kann wegen der Dynamik der Technikentwicklung in der Regel nicht davon ausgegangen werden, dass die jüngsten technologischen Entwicklungen bereits in publizierten Nachschlagewerken vorliegen, erst recht nicht, wenn Mehrsprachigkeit gefordert ist. Außerdem verbieten oftmals wirtschaftliche Erwägungen, Fachwörterbücher in sehr kleinen Auflagen zu produzieren, in kurzen Intervallen zu aktualisieren und neu aufzulegen [FS04].

## Digitale Datenträger

Klassische in Printmedien bereitgestellte Wörterbücher werden immer häufiger in maschinenlesbarer Form, beispielsweise auf CD-ROM, vertrieben. Das Marktangebot reicht hierbei von ein- und mehrsprachigen Wörterbüchern mit allgemeinem Wortschatz über Fachwörterbücher bis hin zu Inhalten umfangreicher Terminologiedatenbanken. Mit dem Übergang zur maschinellen Informationsverarbeitung sind einige technische Restriktionen gefallen, die für Printmedien zwangsläufig kennzeichnend waren. Dies betrifft das mögliche Volumen des abgebildeten Wortschatzes, die mögliche Differenzierung in der Beschreibung und schließlich die Mächtigkeit der Relationierung der Termini selbst. Neben der Qualität der dargebotenen Informationen spielt die Bedienungs-freundlichkeit der elektronischen Wörterbücher eine große Rolle. Im Vergleich zu den konventionellen gedruckten Wörterbüchern bestehen erweiterte Such-möglichkeiten wie Volltext- und Einzelfeldrecherche nach unterschiedlichen Kriterien wie beispielsweise sprachspezifische Suche und die Suche nach Dokumentennummern oder Stichwörtern im Produkt DIN-TERM [Gab01][Wei01]. Hinsichtlich des Bereitstellungsvorgangs und der Periodizität ihrer Aktualisierung grenzen sich digitale Datenträger nicht wesentlich von Printmedien ab, da hier kein Änderungsdienst besteht und Informationen nach einer gewissen Zeit obsolet werden.

## Datenbanken

Die bislang verfolgten Ansätze der Terminologiebereitstellung über Datenbanken werden in der Literatur unter den Stichworten „benennungsorientierte Systeme“ und „begriffsorientierte Systeme“ diskutiert. Für eine umfassende Gegenüberstellung sei auf [SH06] verwiesen. Der Stand der Technik stellt sich wie folgt dar:

*Benennungsorientierte Terminologiemanagementsysteme* gehen von einem geschlossenen sprachlichen Zeichen aus, das eindeutig durch die Benennung konstituiert wird. Die Benennung ist damit dem Begriff übergeordnet, der in Form einer Definition quasi als Attribut an die Benennung angehängt wird.

*Begriffsorientierte Terminologiemanagementsysteme* gehen von einem geschlossenen, positiv vorhandenen Zeichen aus. Konstituierendes Element ist hier aber nicht die Benennung, sondern der Begriff. Das bedeutet, der Begriff konstituiert das Zeichen und subsummiert die Benennung (oder mehrere Benennungen) als Attribut. Der Begriff ist der Benennung somit übergeordnet.

Ein genauerer Blick auf die bestehenden Systeme zeigt schnell, dass hier für die adäquate Abbildung von Fachsprachen noch erhebliche Potenziale vorhanden sind (vgl. [SS09b]):

- *Beherrschung von Mehrdeutigkeiten:* Der *Nachteil* benennungsorientierter Systeme ist, dass sie grundsätzlich nicht in der Lage sind, Ambiguitäten (Mehrdeutigkeiten durch Homonyme und Polyseme) aufzulösen. Sie repräsentieren somit ein Zeichenverständnis, das nicht ansatzweise die Erfordernisse einer zeitgemäßen Terminologearbeit befriedigt. Ein *relativer Vorteil* der begriffsorientierten Systeme im Vergleich zu den zuvor dargestellten benennungsorientierten Systemen ist, dass sie die möglichen Problemfälle in Folge der Homonymie sprachlicher Benennungen beherrschen, da sie in verschiedenen Einträgen (Datensätzen) abgespeichert werden können.
- *Varietätsbezug:* Ein *Nachteil* beider Systeme ist, dass ein Sachgebiet (eine Varietät), wenn überhaupt, dann nur additiv als Attribut zugeordnet wird. Dies hat die negative Konsequenz, dass geringe Bedeutungsunterschiede innerhalb einer Varietät nicht modelliert werden können, da der Sachgebietsbezug lediglich ein Attribut darstellt, nicht jedoch eine gleichberechtigte Konstituente des terminologischen Eintrags.
- *Diachronizität:* Ein *Nachteil* beider Terminologiemanagementsysteme ist, dass sie lediglich eine synchrone Perspektive auf die Sprache unterstützen. Ein etwaiger Sprachwandel in Folge aktueller Neuauflagen und damit entfallender, veränderter oder ergänzter Termini kann nicht nachvollzogen werden. Durch die fehlende Versionierungen werden ungültige terminologische Festlegungen gelöscht und stehen nicht mehr zur Verfügung.
- *Systemhaftigkeit:* Ein *Nachteil* beider Terminologiemanagementsysteme ist, dass diese die Systemhaftigkeit der Sprache nicht ausreichend berücksichtigen. Es können, wenn überhaupt, nur wenige ausgewählte Typen semantischer Relationen verwendet werden. Es ist nicht möglich, neue Typen flexibel nach den Anforderungen anzulegen.
- *Rekursivität:* Ein *Nachteil* beider Terminologiemanagementsysteme ist, dass sie der Rekursivität von Sprache nicht entsprechen. Mit diesem Terminus der Informatik soll bezeichnet werden, dass zur Verständigung über Sprache eine Terminologie zur

Sprachbeschreibung (Metasprache) vorhanden sein muss. Relationstypen, Merkmale und Varietäten sind aus linguistischer Perspektive wieder Termini. Konsequenterweise müssten sie somit wiederum als Einträge des Terminologiemanagementsystems modelliert werden können. Dies ist jedoch nicht der Fall.

## Internet

Das World Wide Web ist ein über das Internet zur Verfügung gestelltes Hypertextsystem, durch das weltweit Informationen ausgetauscht werden. Es bietet die folgenden Vorteile:

- *Ubiquitäre und omnipräsente Verfügbarkeit von Informationen:* Es ist prinzipiell möglich, von jedem Ort auf die an einem beliebigen anderen Ort bereitgestellte Information zuzugreifen [HKR+07].
- *Ständige Aktualität:* Die Chance, die omnipräsenten Informationen jederzeit auf den neuesten Stand zu bringen und die nahezu zu vernachlässigende Übertragungszeit zum Empfänger, erlaubt die ständige Aktualität der bereitgestellten Daten [HKR+07].

Ein Wiki (hawaiisch für „schnell“) ist eine webbasierte Software, die es allen Betrachtern einer Seite erlaubt, den Inhalt zu ändern, indem sie diese Seite online im Browser editieren. Damit ist das Wiki eine einfach zu bedienende Plattform für kooperatives Arbeiten an Texten und Hypertexten [EG05]. Ziel eines Wikis ist es im Allgemeinen, die Erfahrung und den Wissensschatz der Autoren kollaborativ auszudrücken (kollektive Intelligenz) [Wik09]. Wiki-Systeme werden durch einige essentielle Funktionen charakterisiert:

- *Bearbeitung:* Die Bearbeitung der Inhalte erfolgt in einer einfach zu erlernenden Auszeichnungssprache.
- *Hypertextualität:* Alle Seiten können auf die Titel anderer Seiten verweisen.
- *Versionierung:* Diese Funktion dokumentiert alle vorausgegangenen Versionen, sowie Veränderungen einer einzelnen Seite. Sie erlaubt es auch, eine alte Version wieder herzustellen (Rollback) und ist damit ein wirksames Mittel gegen unerwünschte Manipulationen durch Nutzer.

Vor dem Hintergrund des Anwendungsfalls eines lexikalischen Informationssystems lassen sich bezüglich des Einsatzes eines Wikis die folgenden Defizite identifizieren:

- *Philosophie des offenen Zugriffs:* Ein Grundsatz von Wikis ist, dass jedermann in der Lage sein soll, ein Dokument zu bearbeiten. Eine besondere Erlaubnis ist hierfür nicht erforderlich. Die kollaborative Onlinezusammenarbeit mit der Möglichkeit eines Lese- und Schreibzugriffs und des Feedbacks zu Einträgen erhöht das Vertrauen in diese Informations- und Wissensquelle. Dieser offene Lese- und Schreibzugriff steht jedoch im Gegensatz zu den genau geregelten Arbeitsabläufen, die in der Normungsarbeit üblich und gefordert sind (Erarbeitung, Prüfung, Freigabe) und technisch durch Redaktionssysteme unterstützt werden können. Unauthorisierte Veränderungen können durch die Einschränkung von Editierrechten auf zugelassene Benutzer oder näher definierte Benutzergruppen oder der Sperrung von Beiträgen gegen eine ungewollte Bearbeitung verhindert werden. Dies widerspricht jedoch dem Grundprinzip des Wikis.
- *Fehlende Schematisierung der Daten:* Wikis sind gekennzeichnet durch die Flexibilität bezüglich unterschiedlicher Arbeitsweisen verschiedener Benutzer, ohne einen

technischen Zwang auszuüben. Wikis stellen daher in der Regel kaum Anforderungen an die Struktur der verwalteten Daten. Solche Daten ohne ein einheitliches Schema sind einfach einzugeben. Andererseits lassen sie sich auf Grund der fehlenden formalen Basis nicht formal prüfen, ob der Eintrag den vereinbarten Regeln entspricht [HKR<sup>+</sup>07].

- *Keine maschineninterpretierbare Semantik:* Wikis bieten keine typisierten Hyperlinks. Die Relationen verbergen sich in den per Hypertext verlinkten Seiten und werden nicht formal expliziert. Nur ein menschlicher Nutzer kann die Bedeutung (Semantik) einer Information auf einer Website problemlos erfassen, in andere Darstellungen transformieren und zu anderen Informationen in Beziehung setzen. Wikis eignen sich somit nicht zur Modellierung maschineninterpretierbarer terminologischer Daten, da die Repräsentation der Informationen auf den Menschen als Endnutzer ausgerichtet ist.

Das Ziel von „Semantic Wikis“ ist es, die Vorteile der Wiki-Systeme hinsichtlich ihrer Flexibilität bei der Bearbeitung von Texten mit den Methoden des „Semantic Webs“ (vgl. Abschnitt 5.1.5) zu vereinen. Dazu unterstützen diese Wikis die Ergänzung der Wiki-Seiten um Metadaten in Form semantischer Annotationen in den Ontologiesprachen RDF oder OWL [SBB<sup>+</sup>07].

### 7.1.2 Organisationsformen von Terminologien

In den Ausführungen zum metasprachlichen Modell des Terminus ist deutlich geworden, dass einzelne Termini die Bausteine eines Terminologiegebäudes sind, welches über die zwischen ihnen bestehenden Relationen an Zusammenhalt gewinnt [APM04] (vgl. Abschnitt 4.6). Damit eine solche unter Umständen recht komplexe terminologische Struktur vermittelt werden kann, ist hierfür eine graphische Darstellung erforderlich, die sich nach dem verfolgten Zweck, dem Fachbereich oder den Gesichtspunkten, nach denen terminologisch differenziert wird, unterteilt. Nachfolgend werden verschiedene Organisationsformen von Terminologien vorgestellt.

#### Nummernsysteme

Die *Nummerung* ordnet Nummerierungsobjekten Nummern zu. Die Nummer ist hierbei eine nach bestimmten Regeln gebildete Folge von Zeichen, die zum Bezeichnen von Gegenständen dient [DIN85c]. Aus dem Aufbau der Zeichenfolge kann auf die Position eines Terminus innerhalb eines Terminologiegebäudes geschlossen werden. Ziel ist es hierbei, einem Nummerierungsobjekt jeweils nur eine Nummer zuzuordnen und umgekehrt eine Nummer nur jeweils einem Nummerierungsobjekt zuzuweisen. Ein Beispiel für eine implizit vorgenommene Nummerung ist [IEE99]. Die Nummerung ergibt sich indirekt aus der Gliederungsstruktur dieser Norm. Die Funktionen der Betriebsführung im Nahverkehr sind hierbei die Nummerierungsobjekte.

#### Kreuztabelle

Eine *Kreuztabelle* erlaubt die Einordnung von Termini anhand zweier kombinierbarer Merkmalarten (eine Merkmalart ist die Zusammenfassung von Merkmalen, die zur Gliederung eines Terminologiegebäudes herangezogen wird [DIN04a]). Liegen zwei kombinierbare Merkmalarten vor, so können diese auf die Zeilen und Spalten einer Matrix bezogen werden. Die einzelnen Zeilen und Spalten werden durch die Merkmale bezeichnet (zweistellige Kreuztafel). [Mey04] ist ein Beispiel für eine Kreuztabelle. Die dort angegebene Übersicht

generischer Funktionen eines Eisenbahnleit- und -sicherungssystems greift auf die Darstellungsform der Kreuztabelle zurück. Den Funktionen (ihrerseits im Sinne einer Bestandsbeziehung differenziert) werden hierbei verschiedene Merkmale gegenübergestellt (Sicherheitsrelevanz, Klassifizierung in Sicherungs-, Dispositions- und Betriebsfunktionen). Ein weiteres Beispiel ist in [IEC06] enthalten. Hier werden den Funktionen der Betriebsführung eines Nahverkehrssystems Automatisierungs-grade (Zuteilung der Verantwortung für Teilfunktionen der Betriebsführung auf den Menschen oder die Technik) gegenübergestellt.

### Felderdiagramme

Bei einer Darstellung als einfaches *Felderdiagramm* entspricht jedem Terminus ein Feld einer Tabelle. Hierbei verdeutlicht die Nachbarschaftsbeziehung eines Feldes zu anderen Feldern (linker und rechter Nachbar) die Position des Terminus innerhalb einer Hierarchie (Hyperonym oder Hyponym). Termini auf der gleichen Hierarchieebene werden durch ein in mehrere Rechtecke aufgeteiltes Feld dargestellt. Im Felderdiagramm stehen somit der obere und der untere Nachbar auf der gleichen Hierarchieebene, sind also einander nebengeordnete Termini. Der Umfang der untergeordneten Termini nimmt mit immer fortschreitender Tiefe der Gliederung ab, was in dieser Form der Darstellung durch die Größe der Rechtecke dargestellt wird. Wegen der eindeutigen Zuordnung von Feldern zu Termini lassen sich durch einfache Felderdiagramme nur *monohierarchische Beziehungen* darstellen. Es erfolgt eine immer tiefer gehende Unterteilung eines übergeordneten Terminus, indem auf jeder Hierarchieebene nach zusätzlichen spezifischen Merkmalen unterteilt wird, welche auf der Ebene des übergeordneten Terminus nicht spezifiziert wurden. Die Kennzeichnungssystematik für Produkt- und Funktionsgruppen für Schienenfahrzeuge greift auf diese Darstellungsform zurück [DIN03b].

### Hypertext

*Hypertext* ist ein multi-lineares Organisationsprinzip, dessen netzartige Struktur durch logische Verbindungen (Hyperlinks) zwischen Wissenseinheiten (Texten oder Textteilen) hergestellt wird. Hypertexte bieten gegenüber der linearen Informationsdarstellung den Vorteil, dass komplexe Informationen vergleichsweise redundanzarm vermittelt werden können. Die assoziative Struktur eines Hypertexts entspricht eher der Funktionsweise des menschlichen Denkens als lineare Texte. Es wird vermutet, dass das menschliche vernetzte Denken ähnlich abläuft wie die Strukturen eines Hypertexts. Das Folgen von Verweisen innerhalb eines Hypertexts wird durch die Möglichkeit der technischen Implementierung erleichtert. Das zuvor zeitaufwändige Verfolgen von Verweisen (Inhaltsverzeichnisse, Indizes, Querverweise und Fußnoten) kann entfallen.

### Formale Repräsentationen und Austauschformate

*Schemata* sind eine formale Variante eines Terminologiegebäudes, mit dem in der Regel ein Ausschnitt der Realität (im Sinne der Reduktion und Abstraktion bei der Modellbildung) modelliert werden soll. Üblicherweise ist das Schema selbst in einer formalen Sprache definiert, so dass sich Daten automatisch darauf überprüfen lassen, ob sie dem Schema entsprechen. Als Standard einer solchen Beschreibungssprache für Schemata hat sich die Extensible Markup Language (XML) etabliert. Sie eignet sich als Austausch- und Beschreibungsformat für strukturierte und semi-strukturierte Dokumente. XML ermöglicht eine medienneutrale Datenhaltung einer strukturierten Terminologie. Da in XML die Struktur von Dokumenten unabhängig vom Inhalt des Dokuments definiert werden kann, wird durch

die strukturbeschreibende Auszeichnung eine Trennung von Repräsentation und Daten erreicht. Dies ermöglicht zum einen die Transformation in lineare Texte (z.B. als Dokument in PDF). Zum anderen wird eine Darstellung in einer multi-linearen (Hypertext-) Struktur möglich (z.B. auf der Basis von HTML) [HKR<sup>+</sup>07]. XML eignet sich jedoch nicht zur Modellierung maschinen-interpretierbarer terminologischer Zusammenhänge. Will man Daten nicht nur strukturieren, sondern um Metainformationen anreichern und mit anderen Daten in Beziehung setzen und verknüpfen, ist die hierarchische Struktur von XML nicht geeignet. Die Unzulänglichkeit von XML resultiert aus den mangelnden Vorgaben zur Beschreibung der Bedeutung von Elementen. Durch die fehlende formale Semantik ist die Bedeutung der beschreibenden Informationen nur für den Menschen verständlich.

Schemata können hinsichtlich ihrer Komplexität von einfachen Attributlisten bis zu komplexen Ontologien (explizite formale Spezifikation einer gemeinsamen Begriffsbildung) reichen. Diese Ebene der Formalisierung ist bislang für Eisenbahnanwendungen noch nicht erreicht worden, für die Prozess-automatisierung jedoch inzwischen Stand der Technik (z.B. Standard for the Exchange of Product Model Data, STEP).

*Ontologiesprachen* konkretisieren die Schemasprachen wie XML um eine definierte Semantik. Im Rahmen des *Semantic Web* sollen Informationen in einer Art und Weise zur Verfügung gestellt werden, die deren Verarbeitung durch Maschinen ermöglicht. Zu diesem Zweck sind offene Standards für die Beschreibung von Informationen vereinbart worden, die eine Interoperabilität ermöglichen. Hierunter wird die Möglichkeit verstanden, Informationen zwischen verschiedenen Anwendungen und Plattformen auszutauschen und zueinander in Beziehung zu setzen. Dies wird durch eine formal spezifizierte Semantik möglich. Bislang bestehende Ansätze der Formalisierung terminologischer Relationen, welche auf Ontologiesprachen (z. B. die Web Ontology Language, OWL [Wor08]) zurückgreifen, bilden die Terminologie der Verlässlichkeit technischer Systeme nur unzureichend ab, da sie nur hierarchische Bedeutungsbeziehungen darstellen [Uni09]. Darüber hinaus transformiert dieser Ansatz lediglich das von [Lap92] identifizierte Terminologiegebäude in eine andere Darstellung. Eine darüber hinausgehende Präzisierung und Quantifizierung der einzelnen abstrakten Termini erfolgt nicht.

*Petrinetze* stellen eine Möglichkeit zur Darstellung sequentieller Bedeutungsbeziehungen dar. Das in [Mey04] entwickelte generische formale Referenzmodell der Eisenbahnleit- und -sicherungssysteme greift auf farbige Petrinetze zurück, um sequentielle Bedeutungsbeziehungen (genauer: kausale Relationen) zu verdeutlichen.

## 7.2 Entwurf eines integrativen Terminologiemanagements

Bereits zuvor ist deutlich geworden, dass neben einer Integration bislang heterogener Sichten (vgl. Abschnitt 3.1.1) eine Bruchfreiheit des Entwicklungsprozesses leit- und sicherungstechnischer Systemlösungen für den Eisenbahnbetrieb angestrebt wird. Ein integratives Terminologiemanagement stellt zukünftig einen Beitrag zu einer konsistenten und widerspruchsfreien Terminologie für die Spezifikation automatisierungstechnischer Systeme dar. Dies kann zu einer größeren sprachlichen Präzision in der gewerke- und domänenübergreifenden Zusammenarbeit führen. Das in diesem Abschnitt dargestellte

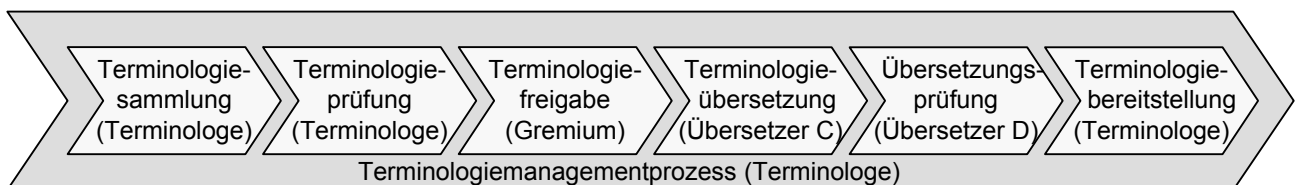
Verfahren vereint methodische Aspekte mit einem Werkzeugeinsatz zur Unterstützung der

kognitiven Tätigkeiten der Sprachproduktion und -rezeption. Es wird somit ein Beitrag zu einer weniger fehleranfälligen Kommunikation (vgl. Abschnitt 1.3) geleistet. Das IGLOS als Werkzeug zur Terminologiemanagementmodellierung ist bezüglich mehrerer Aspekte integrativ:

- *Domänenintegration*: Es wird eine gewerkeübergreifende, einheitliche und mehrsprachige terminologische Arbeitsgrundlage geschaffen.
- *Räumliche Integration*: Eine Internet-Plattform ermöglicht kollaboratives und verteiltes Arbeiten an verschiedenen Standorten über Landes- und Unternehmensgrenzen hinweg.
- *Werkzeugintegration*: Das Terminologiemanagementsystem kann als Kernelement eines kooperativen Verbunds sprachtechnologischer Werkzeuge dienen.
- *Prozessintegration*: Als Teil eines kooperativen Werkzeugverbunds ist das Terminologiemanagementsystem mit den Prozessen der Dokumentations-erstellung und des Terminologiemanagements verflochten.
- *Integration von Textbausteinen*: Von verschiedenen Autoren an verschiedenen Standorten in unterschiedlichen Sprachen, Schreibstilen und Vokabularen erstellte Dokumente können im Idealfall zu einem sprachlich konsistenten Gesamtdokument integriert werden [Hab08].

### 7.2.1 Terminologiemanagementprozess

Die Erarbeitung einer konsistenten terminologischen Basis erfordert eine methodische Vorgehensweise. Auf Grund des sprachlichen Wandels ist diese zwangsläufig iterativ. Die Schritte eines Terminologiemanagementprozesses sind in Abbildung 7-1 dargestellt.



**Abbildung 7-1: Tätigkeiten im Terminologiemanagementprozess**

- *Terminologiesammlung*: Bestehende Terminologie wird aus verschiedenen Quellen zusammengestellt. Es können zum einen von Nutzern Termini beispielsweise über einen Web-Client vorgeschlagen werden [GH08]. Zum anderen können bei bestehenden Ausgangstexten die am häufigsten verwendeten Termini durch *Terminologieextraktionsprogramme* (vgl. Abschnitt 7.2.3) bestimmt [Zer08a] oder auf bestehende Terminologien zurückgegriffen werden.
- *Terminologieprüfung*: Die Prüfung und Bearbeitung der gesammelten Termini erfolgt durch einen Terminologieverantwortlichen. Die Ergebnisse der Terminologieextraktion sind zu bewerten. Zwar stellen die Ergebnisse der Terminologieextraktion die am häufigsten verwendeten Termini dar, jedoch sind dies unter Umständen nicht die wichtigsten oder tatsächlich neuen Benennungen [Zer08b]. Im Rahmen der Terminologieprüfung werden Definitionen zusammengetragen, mehrsprachige Vorzugsbenennungen vorgeschlagen, sowie Benennungen angegeben, die nicht mehr verwendet werden dürfen [Hab08].



- *Terminologiefreigabe:* Vorgeschlagene Termini werden durch ein über-geordnetes Terminologiegremium abgestimmt. Das Gremium kann beispielsweise aus dem Terminologen, der den Entscheidungsprozess leitet, Fachexperten und (bei fremdsprachigen Vorschlägen) Muttersprachlern bestehen. Um die Abstimmung effizient zu gestalten, kann die Terminologie im Internet in einem Onlineforum abgestimmt werden.
- *Terminologieübersetzung:* Die abgestimmte Terminologie wird nach erfolgter Abstimmung in Fremdsprachen übersetzt.
- *Übersetzungsprüfung:* Die Validierung der fremdsprachigen Übersetzung wird durch Muttersprachler vorgenommen [GH08]. Es wird geprüft, ob die Übersetzung korrekt erfolgte. Dies betrifft insbesondere die Angaben zur Äquivalenz der Benennungen (vgl. Abschnitt 4.3.2).
- *Terminologiebereitstellung:* Sind alle vorhergehenden Schritte durchgeführt worden, wird die Terminologie in allen benötigten Sprachen und Sichten für Recherchen sowie für Schnittstellen zur Qualitätssicherung in der Dokumentationserstellung und -übersetzung bereitgestellt [GH08][Hab08].

Die hier dargestellten Schritte stellen einen iterativ zu durchlaufenden Prozess dar. Dieser wird für einen Terminus gegebenenfalls wiederholt und zeitgleich für verschiedene Termini durchlaufen.

7.2.2 Terminologie im Dokumentenlebenslauf

Der Dokumentenlebenslauf beschreibt den Prozess, den ein Dokument von der Erstellung über die Verwendung bis zum Sichern in einem Langzeitarchiv durchläuft. Abbildung 7-2 zeigt die verschiedenen Phasen des Dokumenten-lebenslaufs, die ebenfalls sequentiell und gegebenenfalls iterativ durchlaufen werden.

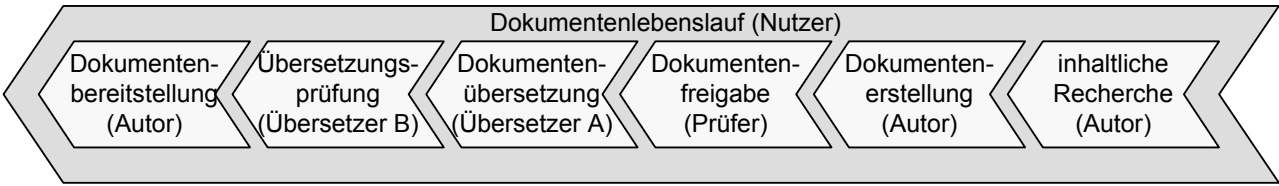


Abbildung 7-2: Tätigkeiten im Dokumentenlebenslauf

- *Inhaltliche Recherche:* Vor der Textproduktion recherchiert der Autor in vorhandenen Dokumenten. Die Textrezeption wird durch Nachschlage-handlungen in einem *elektronischen Glossar* unterstützt, welches die Verständnisleistung des Benutzers erhöht [Roe99].
- *Dokumentenerstellung:* Der Autor erstellt sein Dokument. Im Rahmen der Textproduktion erhält er aus einem elektronischen Glossar Hinweise zur fachsprachlichen Wortwahl und Bedeutung sowie zu paradigmatischen Beziehungen [Roe99]. Die Textproduktion kann mit einer Prüfung abschließen, bei der *Term Checker* (vgl. Abschnitt 7.2.3) den erstellten Text auf die Einhaltung einer freigegebenen Terminologie prüfen. *Controlled-Language-*

*Checker* (vgl. Abschnitt 7.2.3) enthalten darüber hinaus weitere linguistische Regeln zur Prüfung erlaubter grammatikalischer Konstrukte und Stilregeln.

- *Dokumentenfreigabe*: Das vom Autor erstellte Dokument wird auf sprachliche und fachliche Richtigkeit geprüft. Hierbei stehen ebenfalls die zuvor genannten Werkzeuge zur Verfügung. Es erfolgt vor der endgültigen Freigabe gegebenenfalls eine Nachbearbeitung durch den Autor und eine Prüfung der Nacharbeit.
- *Dokumentenübersetzung*: Das Dokument der Ausgangssprache wird in die gewünschten Zielsprachen übersetzt. Der Übersetzer wird durch *Translation Memory Systeme* (vgl. Abschnitt 7.2.3) bei dieser kognitiv anspruchsvollen Aufgabe unterstützt. Ein *Controlled-Language-Checker* (vgl. Abschnitt 7.2.3) kann überprüfen, ob auch in der Zielsprache die erlaubten grammatikalischen Konstrukte und Stilregeln eingehalten wurden.
- *Übersetzungsprüfung*: Die Prüfung der Übersetzung kann durch Muttersprachler erfolgen, um sprachliche Feinheiten, zulässige grammatikalische Konstruktionen und die stilistische Adäquatheit zu gewährleisten.
- *Dokumentenbereitstellung*: Das Dokument wird an die Nutzer übergeben. Als Anforderungsspezifikation stellt es beispielsweise die Basis für die anschließende Systemimplementierung dar. Als Bedien- und Wartungshandbuch ist es die Grundlage für die ordnungsgemäße Betriebsdurchführung.

### **7.2.3 Kooperativer Verbund sprachtechnologischer Werkzeuge**

In den Darstellungen der Prozesse der Dokumentationserstellung und des Terminologiemanagements ist deutlich geworden, wie sprachtechnologische Werkzeuge im Allgemeinen und ein Terminologiemanagementsystem im Speziellen einen Beitrag zu einer Komplexitätsreduktion der (schriftlichen) Kommunikation in natürlicher Sprache leisten können. Der Einsatz der zuvor genannten Werkzeuge setzt das Vorhandensein einer Terminologiedatenbank voraus, gegen welche die aktuelle Terminologieverwendung geprüft wird. Die Terminologiedatenbank muss Hinweise enthalten, ob die einzelnen Benennungen zulässig sind oder nicht [Sou07]. Genau dies leistet der konsistente und eindeutige Fachwortschatz des IGLOS.

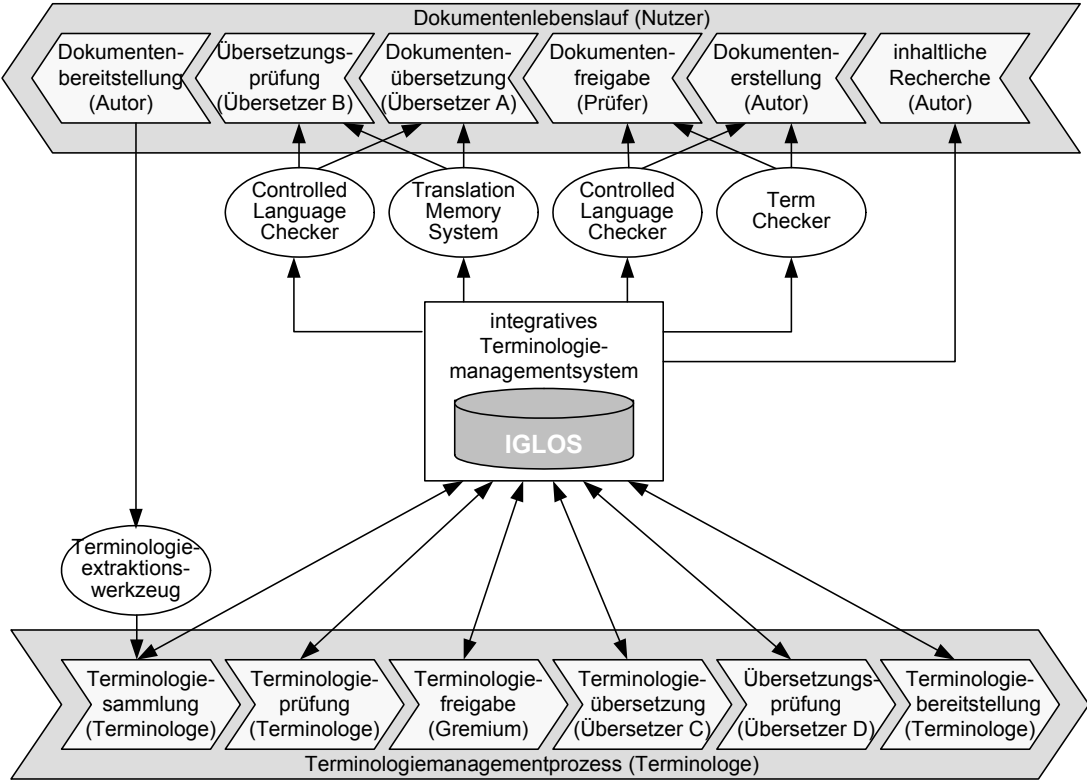


Abbildung 7-3: Integratives Terminologiemanagement (Ablaufmodell)

Terminologieextraktionswerkzeuge

Terminologieerkennung und -extraktion gehören zu den Aufgaben, die noch sehr oft manuell durchgeführt werden und daher von einer weiteren Automatisierung profitieren können. Terminologieextraktionswerkzeuge erlauben es, vor dem Beginn des eigentlichen Terminologiemanagements geeignete Textkorpora auf Termini zu durchsuchen. Das Ergebnis einer Terminologieextraktion sind Listen mit Kandidaten, die in einem weiteren Arbeitsschritt validiert werden müssen. Die validierten Termini werden in das zu erstellende Glossar übernommen. Die heute erhältlichen Terminologieextraktionssysteme filtern Einwort- und Mehrwortbenennungen aus einsprachigen Dokumenten (monolinguale Werkzeuge) sowie aus alignierten Dokumenten in zwei Sprachen (bilinguale Werkzeuge), wobei bilinguale Systeme zusätzlich eine Zuordnung möglicher Übersetzungen der Termini erlauben [ZR06].

Term Checker

Programme zur Terminologiekontrolle kommen bereits bei der Erstellung der Texte durch den Autor zum Einsatz und gleichen den Text mit dem Inhalt einer Terminologieliste ab. Die Liste kann aus dem Terminologiemanagementsystem IGLOS übernommen werden und enthält gültige Termini sowie ihre ungültigen Entsprechungen. Ungültige und fragliche Termini werden als farbliche Markierungen im Text angezeigt und können einzeln vom Anwender geprüft werden.

Controlled-Language-Checker

Liegt der Wortschatz eines Fachgebiets formalisiert vor, kann dieser als Kernelement einer kontrollierten Sprache dienen. Als kontrollierte Sprachen werden Teilmengen natürlicher Sprachen bezeichnet, die einen eingeschränkten Wortschatz aufweisen [Ort05][Ort97] und nur eine limitierte Palette syntaktischer (grammatischer) Konstruktionen nutzen [Göp07]. Mit umfangreichem linguistischen Wissen ausgestattete Sprachkontroll-Werkzeuge (CLC,

Controlled-Language-Checker) unterstützen die Autoren bei der Dokumentationserstellung. *Sprachkontroll-Werkzeuge* überprüfen neben der Verwendung der korrekten Terminologie die richtige Rechtschreibung, Grammatik und die für eine Textsorte festgelegten Stilregeln. Terminologische und stilistische Inkonsistenzen werden somit vermieden sowie der Lesefluss und der Informationstransfer verbessert [DH08]. Abbildung 7-4 zeigt, wie durch die Nutzung von Controlled-Language-Checker terminologisch und stilistisch heterogene Dokumente zu einem konsistenten Gesamtdokument zusammengeführt werden können.

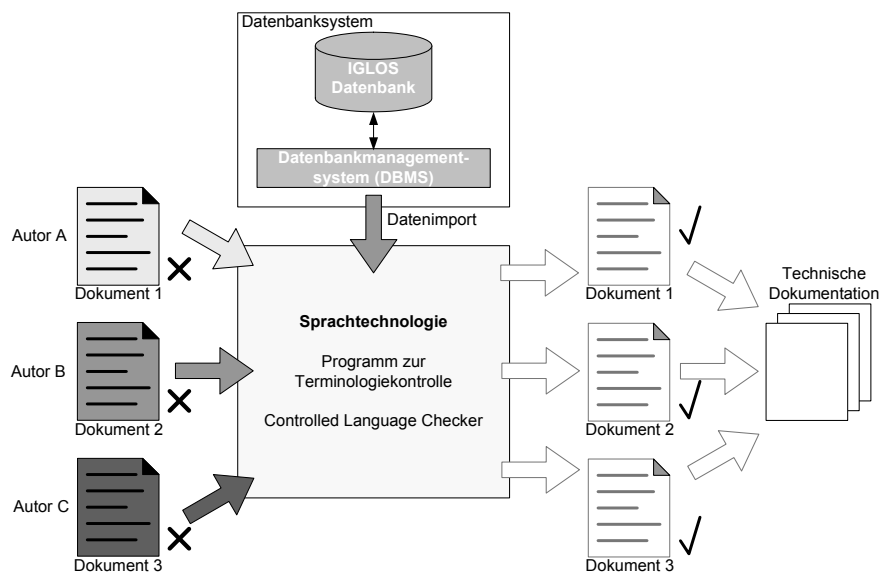


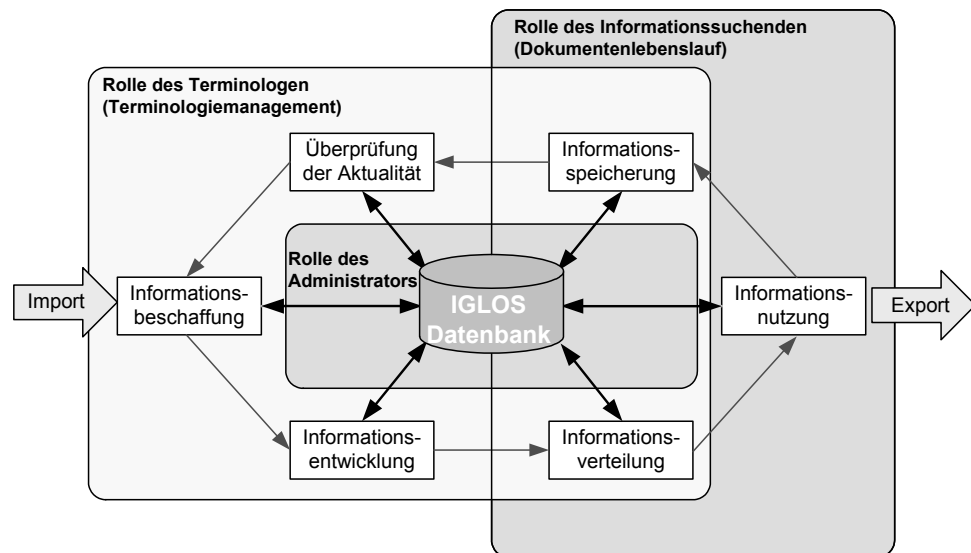
Abbildung 7-4: Anbindung des IGLOS an Werkzeuge der Sprachtechnologie

Translation Memory Systeme

Das Übersetzungsvolumen steigt durch globaler werdende Märkte zunehmend an. Die Anfertigung von Übersetzungen ist eine arbeitsintensive Aufgabe, die sich zunehmend höheren Ansprüchen an die Geschwindigkeit und Qualität der Bereitstellung mehrsprachiger Inhalte gegenüber sieht. Daher ist es für Auftraggeber sowohl aus Kosten- wie auch aus Termingründen von besonderer Bedeutung, dass Texte nicht mehrfach übersetzt werden, sondern vorhandene Übersetzungen effizient wiederverwendet werden können. Es ist das Ziel vieler global agierender Unternehmen, durch geeignete Werkzeuge Routinetätigkeiten im Übersetzungsprozess zu automatisieren und so Kosten zu reduzieren. In der industriellen Praxis ist derzeit der Einsatz von Translation-Memory-Systemen Stand der Technik. Diese Werkzeuge dienen dem Speichern und Übernehmen vorhandener Übersetzungen und unterstützen somit den Übersetzer bei der Arbeit. Mit ihrer Hilfe lassen sich erhebliche Einsparungen im Übersetzungsbereich realisieren. Sie stellen die Grundlage für ein effizientes Übersetzungsmanagement dar. Der Übersetzung muss eine terminologische Arbeit vorausgehen, denn nachträgliche Änderungen festgelegter Terminologien können zu erheblichen Mehraufwendungen führen. Dies kann das Scheitern des gesamten Konzepts der Wiederverwendung zur Folge haben. Translation-Memory-Systeme setzen als Basis eine strukturierte und gesicherte Quellterminologie voraus. Der strukturierte mehrsprachige Terminologiebestand des IGLOS selbst sorgt zum einen für eine Reduktion der Übersetzungsumfänge durch die Verringerung der Varianz der Quelltexte. Zum anderen vereinfacht der mögliche Import einer mehrsprachigen terminologischen Basis den Übersetzungsprozess [Pic08].

7.3 Anwenderrollen und ihre funktionalen Anforderungen

Für den Prozess der Erstellung und der Verwendung des semantischen Netzes, in welchem das Wissen modelliert ist, können drei Typen von Anwendern charakterisiert werden. Sie lassen sich aus den in Abschnitt 2.2.1 vorgestellten Teilfunktionen des Informationsmanagements ableiten und sind in Abbildung 7-5 ersichtlich:



**Abbildung 7-5: Ableitung der Benutzerrollen aus dem Informationsmanagementprozess**

- Die Tätigkeiten der *Informationsbeschaffung*, *-entwicklung*, *verteilung* und *-speicherung* sowie die *Überprüfung der Aktualität* der in der Terminologie enthaltenen Informationen werden durch die Benutzerrolle des *Terminologen* gewährleistet.
- Die *Informationsrepräsentation* bedarf einer zentralen, formalisierten und vollständigen Abbildung in einem Werkzeug. Ein solches Werkzeug kann helfen, das personengebundene Wissen zu entpersonalisieren. Die Konzeption und Pflege eines solchen Werkzeugs ist die Aufgabe des *Administrators*.
- Die *Informationsnutzung* korrespondiert eng mit den Anforderungen des *Informationssuchenden*. Er greift auf die im Rahmen der Informationsverteilung bereitgestellten terminologischen Daten zu.

Das zu entwickelnde Werkzeug hat diesen Rollen von seiner Gestaltung und von seinem Inhalt her zu entsprechen, so dass im Folgenden hieraus differenzierte funktionale Anforderungen abgeleitet werden können.

### 7.3.1 Rolle des Terminologen

Der Terminologe ist der Experte für die Erarbeitung, Beschreibung, Verwaltung und Verbreitung ein- und mehrsprachiger Fachwortschätze. Im Rahmen dieser interdisziplinären Tätigkeit stimmt sich der Terminologe häufig mit Fachleuten unterschiedlicher Fachgebiete ab [Rat05]. Hierbei erfüllt er innerhalb des Informationsmanagements verschiedene Aufgaben (vgl. Abbildung 7-5).

Während der *Informationsbeschaffung* führt der Terminologe eine umfangreiche Dokumentationsrecherche durch. Die Qualität der Rechercheergebnisse bestimmt die Güte der in einem Terminologiemanagementsystem abgebildeten Termini. Die Herkunft der Daten ist daher kritisch zu klären und genau zu referenzieren [Sou07].

Im Verlaufe der *Informationsentwicklung* betreibt der Terminologe das Ordnen der Termini und den Aufbau von Terminologiegebäuden. Der einzutragende Terminus sollte sorgfältig

von benachbarten beziehungsweise ähnlichen Termini abgegrenzt werden. Zur Modellierung der Terminologie mit ihren semantischen Relationen kann der Terminologe den Rat anderer Fachleute einholen[Rat05].

Im Rahmen der *Informationsverteilung* stellt der Terminologe die terminologischen Daten in verschiedenen Ausgabemedien für die Anwender bereit.

Die *Überprüfung der Aktualität* bedeutet für den Terminologen die laufende Pflege der Terminologiedatenbank. Diese Tätigkeit umfasst die folgenden Aspekte:

- Die Abwicklung von Nutzeranfragen in Ausgangs- und Zielsprachen, die möglicherweise zu Neueinträgen führen.
- Änderung, Ergänzung und gegebenenfalls Löschung (bzw. als veraltet markieren) vorhandener Einträge, um einen möglicherweise veränderten Sprachgebrauch eines Fachgebiets zu berücksichtigen. Benennungen können hierbei gegebenenfalls umgestuft werden.
- Gewährleistung der fachlichen Richtigkeit der vorgenommenen Einträge durch Prüfung und Freigabe.

Das IGLOS ist für den Terminologen ein Werkzeug zur Speicherung und Verwaltung terminologischer Einträge. Der Terminologe ist für die Durchführung seiner Aufgaben durch eine geeignete Benutzerschnittstelle zu unterstützen. Hierfür sind ihm die notwendigen Informationen und Steuerelemente zur Verfügung zu stellen. Für die Eingabe und Änderung terminologischer Einträge ist eine Eingabemaske in Anlehnung an die Vorgaben der terminologischen Grundnormung zu entwickeln (vgl. [ISO 10241], [DIN00b], [DIN08a]). Dies umfasst die folgenden Aspekte:

- *Unterstützung der Disambiguierung durch Modellierung der Bedeutungs-beziehungen:* Die Termini werden entweder direkt bei ihrer Eingabe in das IGLOS gleich mit ihren terminologischen Relationen angelegt oder zu einem späteren Zeitpunkt um diese ergänzt. Der Terminologe hat hierbei nach [DIN87b] die Möglichkeit, hierarchische Bedeutungsbeziehungen (Bestands- und Abstraktionsrelation) zu modellieren. Darüber hinaus sollen Kausalbeziehungen darstellbar sein. Prinzipiell können bei Bedarf weitere Relationstypen durch den Administrator bereitgestellt werden.
- *Unterstützung der Disambiguierung durch Ermöglichen einer terminologischen Kontrolle:* Die Eingabemaske soll es ermöglichen, einem Begriff eine bevorzugte Benennung zuzuordnen. Im Falle von Synonymen sollen diese explizit ausgewiesen werden und als Nebenbenennung oder abgelehnte Benennung nach den Vorgaben der terminologischen Grundnormen dokumentiert werden. Gleiches gilt für die Angabe von Kurzformen (Abbreviationen), die als Spezialfall der Synonyme aufgefasst werden können (vgl. [ISO 10241]). Im Falle von Homonymen soll durch die Angabe von Qualifikatoren eine eindeutige Zuordnung zum zutreffenden sprachlichen Kontext getroffen werden.
- *Unterstützung der Mehrsprachigkeit:* Bei der Eingabe eines terminologischen Eintrags soll bereits der Verweis auf fremdsprachige Äquivalente (Benennungen und Definitionen) erfolgen. Für fremdsprachige Definitionen und Benennungen sind entsprechende Eingabemöglichkeiten vorzusehen.

- *Unterstützung des Änderungsmanagements:* Im Falle der Änderung von Normen soll es möglich sein, nach betroffenen terminologischen Einträgen im Glossar zu suchen und diese gezielt zu ändern. Diese sollten beispielsweise über ein Attribut „Quelle“ identifiziert werden können.

### 7.3.2 Rolle des Administrators

Der Administrator installiert, konfiguriert und pflegt das Terminologie-managementsystem. Er regelt darüber hinaus die Vergabe von Zugriffsrechten. So ist gewährleistet, dass die terminologischen Informationen durch Eingabe-, Änderungs- und Löschberechtigungen geschützt werden. Durch Leseberechtigungen wird sichergestellt, dass die Informationen nicht von Unbefugten gelesen werden können. Insgesamt müssen die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- *Datenschutz durch Rechtevergabe:* Die Vergabe von Zugriffsrechten ist für die Qualität und Integrität des Datenbestands von größter Bedeutung. Um die Gefahr unbefugter Zugriffe und unerwünschter Änderungen oder Löschungen von Datensätzen zu vermeiden, ist eine Regelung für die Vergabe und Nachvollziehbarkeit von Lese- und Schreibrechten zu treffen. Die Vergabe von Berechtigungen ergibt sich im Wesentlichen aus der Aufgabenstruktur der einzelnen Benutzergruppen.
- *Änderungen des Datenbankschemas:* Anforderungen des Terminologen erfordern gegebenenfalls eine Anpassung des Datenbankschemas. Gegebenenfalls kann es notwendig werden, die Ausdrucksmächtigkeit des IGLOS um neue semantische Relationen zu erweitern. Denkbar sind auch veränderte Anwendungserfordernisse wie die Anbindung an eine spezifische Middleware oder die Ausgabe in einem speziellen Ausgabeformat. Diese Änderungen sollen möglichst einfach durchführbar sein.

Der Administrator benötigt eine geeignete Benutzerschnittstelle für die Erfüllung seiner Aufgaben.

### 7.3.3 Rolle des Informationssuchenden

Die in der Datenbank gespeicherten Informationen sind vor allem für *Informationssuchende* der folgenden Anwenderkreise relevant [Gab01]:

- *Fachleute* können ohne langwierige Recherche in Normen Klarheit über die Definitionen der von ihnen verwendeten Termini erlangen. Die Textproduktion wird verbessert, indem Hinweise zur fachsprachlichen Wortwahl und Bedeutung, zu paradigmatischen und syntagmatischen Beziehungen oder zu wichtigen Kollokationen gegeben werden [Roe99]. Die Textrezeption wird intensiviert, indem das Verständnis des Benutzers durch Nachschlage-handlungen unterstützt wird.
- *Übersetzer* können sich eine Übersicht über die genormten Termini ihres Arbeitsgebiets verschaffen und die Präzision ihrer Übersetzungen durch Verwendung der allgemein anerkannten Benennungen verbessern.
- *Mitarbeiter von Normungsgremien* ermöglicht die Datenbank vor der Vergabe von Benennungen die Prüfung, ob die beabsichtigte neue Benennung bereits an anderen Stellen im Normenwerk festgelegt ist und ob es sich um die gleiche Bedeutung



handelt. Dann kann auf den bereits genormten Terminus verwiesen werden. Darüber hinaus können sie recherchieren, ob die Termini, die in der Definition eines Terminus verwendet werden sollen ihrerseits bereits festgelegt sind.

Der Informationssuchende greift lesend auf den terminologischen Bestand des IGLOS zu. Um den Informationssuchenden optimal zu unterstützen, ist eine Möglichkeit zum *Vorschlagen von Kandidaten* zu erfüllen. Es ist notwendig, dass der Terminologieprozess bei jenen Nutzern beginnt, bei denen eine neue Benennung zum ersten Mal eingeführt wird. Diese Anwender sind es in der Regel auch, die den Bedeutungsumfang des Neologismus gut festhalten können. Es ist daher eine geeignete Oberfläche zu entwickeln, mittels derer Anfragen an den Terminologen gestellt werden können [Hab08]. Der Terminologe stimmt den vorgeschlagenen Kandidaten in einem Expertengremium ab, dokumentiert den Entscheidungsprozess und stellt die geänderte Terminologie zur Nutzung zur Verfügung.

### 7.3.4 Allgemeine Anforderungen

Der Terminologe und der Informationssuchende benötigen für ihre Arbeit mit dem Terminologiemanagementsystem die gleichen Funktionen. Diese stellen allgemeine Anforderungen dar und werden nachfolgend vorgestellt.

#### Graphische Anzeige

Der Informationssuchende steigt über eine graphische Übersicht oder die Eingabe eines Stichworts in seine Recherche in das semantische Netz ein. Die Repräsentation des Wissens innerhalb eines semantischen Netzes erlaubt es ihm, Zusammenhänge zwischen den terminologischen Einträgen zu erkennen. Termini sollen mit ihren Beziehungen graphisch dargestellt werden können. Hierbei sind die Grundsätze für die Darstellung von Terminologiegebäuden (vgl. [DIN80]) zu beachten:

- *Anschaulichkeit*: Ein Terminologiegebäude soll so anschaulich wie möglich dargestellt werden. Es soll vermieden werden, durch die Darstellung zu hohe Anforderungen an Konzentration und Abstraktionsvermögen des Betrachters zu stellen.
- *Übersichtlichkeit*: Die Visualisierung soll so übersichtlich wie möglich sein. Da bei der Betrachtung einer Darstellung nur eine sehr begrenzte Menge von Termini auf einmal wahrgenommen werden kann, muss für einen solchen Bereich der abgebildete Teil des Terminologiegebäudes schnell zu erfassen sein.
- *Eindeutigkeit*: Ein Terminologiegebäude soll so eindeutig wie möglich angezeigt werden. Semantische Netze zeichnen sich dadurch aus, dass zwischen den Informationseinheiten verschiedenartige Verknüpfungen existieren können. Aus diesem Grund müssen die Assoziationstypen auch in einer graphischen Übersicht direkt gekennzeichnet oder zumindest offensichtlich werden. Diese Forderung ist jedoch mit der Gefahr verknüpft, dass der Anwender mit einer sehr großen Menge von Informationen konfrontiert wird, was zu einer kognitiven Überlastung führen kann. Vielfache Überschneidungen von Linien oder Wechsel der Darstellungsform können den Betrachter verwirren.
- *Ergänzbarkeit*: Die Anzeige eines Terminologiegebäudes soll so gehalten sein, dass neue Termini und Relationen ohne völlige Neubearbeitung der Darstellung eingefügt werden können.

**Import- und Exportmöglichkeit**

Der Terminologe kann durch die Möglichkeit eines *Imports* bereits vorhandener terminologischer Einträge unterstützt werden. Bereits zuvor ist die Problematik nicht abgestimmter und widersprüchlicher Glossare angeklungen - um die Erstellung konsistenter projektspezifischer Glossare zu erleichtern, ist eine Auswahl- und *Exportmöglichkeit* der terminologischen Einträge vorzusehen, welche die folgenden Aspekte umfasst:

- Die Daten sind in einem allgemein akzeptierten Austauschformat bereitzustellen, um einen Import in Entwicklungs- oder Übersetzungswerkzeuge zu ermöglichen.
- Ein Release- und Versionsmanagement einzelner exportierter terminologischer Einträge soll es ermöglichen, frühere Versionen eines Glossars wiederherzustellen und zu referenzieren. Dies ist beispielsweise bei vertraglichen oder gesetzlichen Anforderungen relevant [Wei08b].

## **7.4 Realisierungskonzept eines Terminologiemanagementsystems**

In diesem Abschnitt wird zunächst das technische Realisierungskonzept des Terminologiemanagementsystems IGLOS vorgestellt, welches auf einer relationalen Datenbank besteht. Im Anschluss werden weitere technische Merkmale zur Lösung der in Abschnitt 1.3 dargestellten Problematik geschildert und die Vorteile des im Rahmen dieser Arbeit konzipierten Terminologiemanagementsystems erörtert.

### **7.4.1 Architekturkonzept**

Die Realisierung einer formalen Wissensrepräsentation (Ontologie) erfolgt im Rahmen des IGLOS-Projekts nicht mithilfe einer Ontologiesprache. Die Realisierung wird vielmehr zunächst auf der Grundlage eines relationalen Datenbanksystems durchgeführt. Langfristig bietet dies den Vorteil einer höheren Flexibilität, da prinzipiell die Ausgabe der modellierten Terminologie in verschiedenen syntaktisch-ontologischen Repräsentationen (beispielsweise in den Ontologiesprachen RDF, RDF-S oder OWL) möglich ist. Die modulare Architektur des IGLOS ist in Abbildung 7-6 dargestellt. Ihre Entwicklung erfolgt in zwei aufeinander folgenden Phasen.

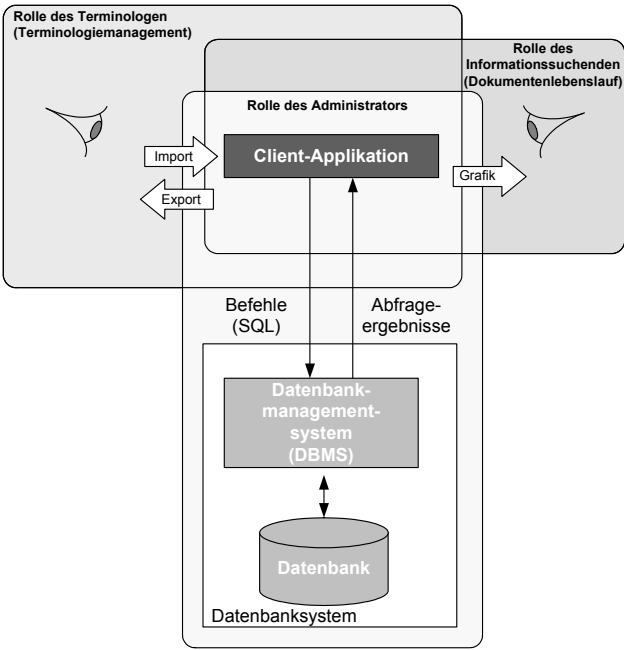


Abbildung 7-6: Architekturkonzept des IGLOS

Mit Hilfe von *Datenbanksystemen* werden große Datenmengen effizient, widerspruchsfrei und dauerhaft gespeichert. Benötigte Teilmengen können in unterschiedlichen bedarfsgerechten Darstellungsformen für Benutzer und Anwendungsprogramme bereitgestellt werden.

Das *Datenbankmanagementsystem* (DBMS) als Teil des Datenbanksystems organisiert die Speicherung der Daten nach einer einheitlichen Struktur. Dies gewährleistet die konsistente Eintragsstruktur der modellierten terminologischen Daten. Darüber hinaus gewährleistet das DBMS die Datensicherheit durch eine Kontrolle aller lesenden und schreibenden Zugriffe auf die Datenbank. Hinsichtlich des vom Datenbankmanagementsystem unterstützten Datenbankmodells können relationale und objektorientierte Datenbanken unterschieden werden. IGLOS basiert aus pragmatischen Gründen auf einer relationalen Datenbank. Die *Datenbank* selbst ist die eigentliche physikalische Speicherung der Daten mit einer Tabellenstruktur auf nicht flüchtigen Speichermedien.

In dem Terminologiemanagementsystem IGLOS greifen der Informationssuchende und der Terminologe über eine *Client-Applikation* auf das Datenbanksystem zu. Die verschiedenen Nutzergruppen arbeiten mit unterschiedlichen Ausschnitten der Client-Applikation (vgl. Abbildung 7-5), wobei der Ausschnitt des Terminologen streng genommen den des Nutzers umfasst, da auch der Terminologe zum Anlegen neuer Termini die Möglichkeit zur Recherche haben muss. Bei der Arbeit mit der Client-Applikation werden direkt Befehle in einer Datenbanksprache (SQL) generiert und an das Datenbanksystem übergeben. Die Client Applikation sendet hierbei Befehle zum *Abfragen* von Informationen nach vorgegebenen Kriterien, Befehle zum *Ändern* ausgewählter Datensätze, zum *Einfügen* von Daten in die Datenbank und zum *Entfernen* von Datensätzen aus einer Tabelle. Neben der Ausgabe von Befehlen nimmt die Client-Applikation auch die Abfrageergebnisse vom Datenbanksystem entgegen, bereitet diese dynamisch auf und zeigt diese dem Anwender an. Die Client-Server-

Architektur erlaubt einen gleichzeitigen Zugriff mehrerer Nutzer auf die terminologischen Daten. Es wird auf diese Weise eine dezentrale Pflege der zentral im Datenbankmanagementsystem (DBMS) gespeicherten Informationen möglich.

### 7.4.2 Eingabe eines Terminus

Abbildung 7-8 zeigt die konsequente Anwendung des trilateralen Zeichenmodells bei der Eingabe von Termini (Lexemen) in das Terminologiemanagementsystem IGLOS. Die Eingabemaske greift die gleichberechtigt nebeneinander stehenden Konstituenten des Zeichenmodells auf (vgl. Abschnitt 4.1).

Durch die Einbeziehung der Varietät wurde das klassische Zeichenmodell der strukturalistischen Linguistik [Sau01] ergänzt. Die Zuordnung eines Terminus (Lexems) zu einer Varietät erfolgt über eine Freitextsuche im vorhandenen Terminologiebestand. Neben dem Varietätsbezug eines Zeichens ist IGLOS in der Lage, die geforderte zeitlich-dynamische (diachrone) Perspektive fachsprachlicher Semantik (vgl. 4.4.2) zu unterstützen. So kann für jeden Terminus beispielsweise der Beginn und das Ende seiner Gültigkeit angegeben werden.

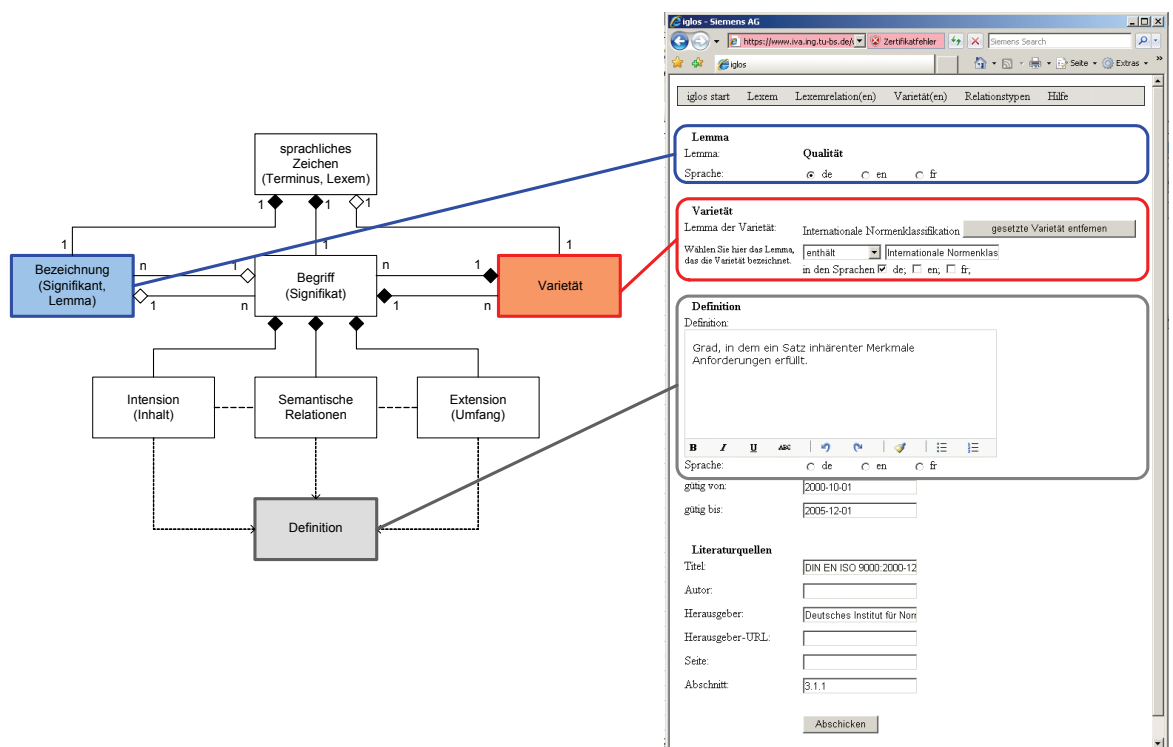


Abbildung 7-7: Eingabe eines Terminus in das IGLOS mit Bezug auf das trilaterale Zeichenmodell

7.4.3 Relationieren eines Terminus

Sprachliche Zeichen integrieren sich in ein System. Es ist entscheidend, den Terminus in Beziehung zu und in Abhängigkeit von anderen Termini zu sehen. Hieraus ergibt sich die Anforderung, dass verschiedenste Relationen zwischen den Termini adäquat abzubilden sind. Erst wenn die Terminologiebasis über gewisse Ordnungsstrukturen verfügt, kann sie als Wissensbasis genutzt werden [GT00]. Die flexible Struktur des IGLOS erlaubt es, jederzeit nutzerdefinierte Relationstypen zu ergänzen. Auf diese Weise wird es möglich, bedarfsgerecht relevante Relationen wie beispielsweise (partielle) Äquivalenzen verschiedensprachiger Ausdrücke oder die für die Vereinheitlichung der Terminologie in den Wissenschaftssprachen nützliche Relationsart „Vorzugsbenennung“ einzuführen. Zusätzlich kann jede angelegte Relation zwischen zwei Termini um einen Freitextkommentar ergänzt werden. Auf diese Weise wird es möglich, relationsspezifische Informationen, wie beispielsweise zusätzliche Angaben für die Übersetzung fachsprachlicher Termini zu ergänzen. Abbildung 7-8 verdeutlicht die Relationierung von Termini exemplarisch anhand der Übersetzungsrelation. Auf diese Weise entsteht eine komplexe Struktur miteinander vernetzter Termini.

iglos startLexemLexemrelation(en)Varietät(en)RelationstypenHilfe

Neue Relation zwischen Lexemen anlegen

Subjekt der Relation

Instandhaltungszeit

Lexeme die keiner Varietät zugeordnet sind

Definition 5 (2009-06-03 07:58:54)

Zeitintervall, während dessen eine Instandhaltungstätigkeit an einer Einheit manuell oder automatisch durchgeführt wird, einschließlich der technischen Verzugsdauer und der logistischen Verzugsdauer.  
Anmerkung: Die Instandhaltung kann durchgeführt werden, während die Einheit eine geforderte Funktion ausführt.  
Sprache: de; gültig seit 2005-05-01; gültig bis 2019-12-31;

Wenn Sie ein anderes Lexeme als Satzglied auswählen möchten, dann wählen Sie dies über die folgende Suche aus.

Das Lemmalabel des Lexems

enthält

in den Sprachen: ☐ de; ☐ en; ☐ fr;

Relationstyp: hasTranslation

Objekt der Relation

temps de maintenance

Lexeme die keiner Varietät zugeordnet sind

Definition 7 (2009-06-03 08:10:55)

interval de temps pendant lequel une opération de maintenance est effectuée sur une entité, manuellement ou automatiquement, y compris les délais techniques et les délais logistiques.  
Note: La maintenance peut s'effectuer pendant que l'entité accomplit une fonction requise.  
Sprache: fr; gültig seit 2005-06-01; gültig bis 2029-12-31;

Wenn Sie ein anderes Lexeme als Satzglied auswählen möchten, dann wählen Sie dies über die folgende Suche aus.

Das Lemmalabel des Lexems

enthält

in den Sprachen: ☐ de; ☐ en; ☐ fr;

Neue Relation zwischen Lexemen anlegen/speichern

Abbildung 7-8: Relationierung von Termini im IGLOS

Sind die Termini mit den zwischen ihnen existierenden Relationen eingegeben, kann IGLOS diese in ihrem systematischen Zusammenhang darstellen. Abbildung 7-9 zeigt dies exemplarisch anhand des Terminus der "akkumulierten Unklardauer" (vgl. Abschnitt 6.3.1) aus dem International Electrotechnical Vocabulary. Prinzipiell können auf diese Weise alle von einem Terminus ausgehenden Relationen zu benachbarten Termini angezeigt werden. Die Einbettung eines Terminus in das gesamte System der Fachsprache(n) wird somit visuell verdeutlicht. Somit geht IGLOS in der Mächtigkeit seiner Modellierung wesentlich über bislang bestehende Glossare der Terminologie der Automatisierungstechnik, und der

154

Elektrotechnik hinaus. Durch die Abbildung der Relationen zwischen den Termini erhält der Nutzer weitere wesentliche Informationen, die für die Monosemierung im Kontext der Sprachproduktion und -rezeption genutzt werden können.

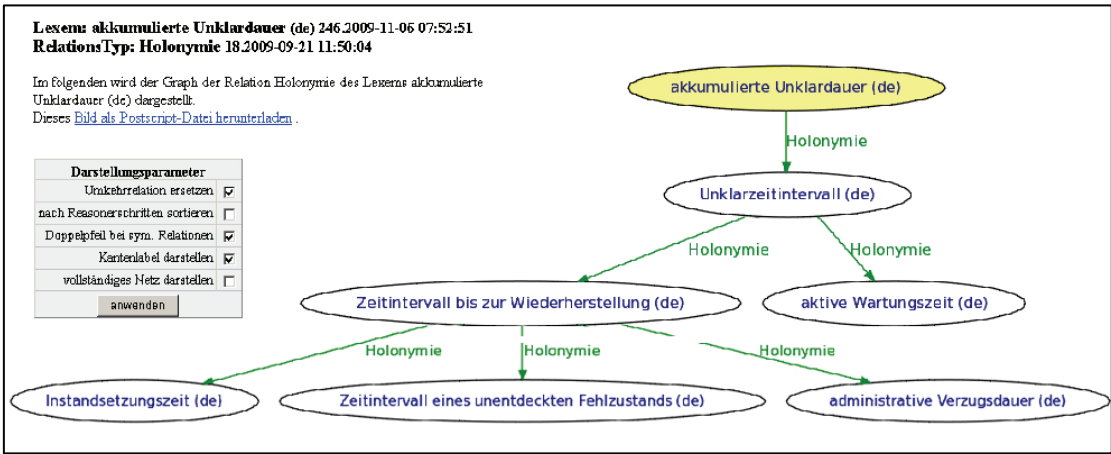


Abbildung 7-9: Ausschnitt eines Terminologiegebäudes im IGLOS

7.4.4 Realisierung des Varietätsbezugs der Termini

In IGLOS werden Termini als wesentlich bestimmt durch das Fachgebiet, in dem sie gelten, aufgefasst. Das in Kapitel 4 formalisierte metasprachliche Modell des Terminus wurde konsequent in die Struktur der relationalen Datenbank übernommen. Für die Dokumentation sachgebietsspezifischer Terminologien können somit beliebige Klassifikations- oder Ordnungssysteme adaptiert werden (vgl. Abschnitt 4.4). Varietäten werden in IGLOS selbst als Termini (Lexeme) aufgefasst und weisen ihrerseits wiederum die drei Konstituenten des trilateralen varietätsbezogenen Zeichenmodells auf. Dies wird in Abbildung 7-10 deutlich. Der in [DIN04a] definierte Terminus *Begriff* erhält über das Klassifikationsschema der Internationalen Normenklassifikation (ICS) eine Varietätszuordnung. Jeder Terminus (Lexem) konstituiert sich somit aus der Trilateralität von Signifikat, Signifikant und Varietät (vgl. Kapitel 4).

iglos start   Lexem   Lexemrelation(en)   Varietät(en)   Relationstypen   Hilfe

Suche Lemma enthält  in den Sprachen ☐ de; ☐ en; ☐ fr;

**Begriff**

**Varietät: Allgemeines. Terminologie. Normung. Dokumentation**

Definition 13 (2009-06-09 16:56:42)

Denkeinheit, die aus einer Menge von Gegenständen unter Ermittlung der diesen Gegenständen gemeinsamen Eigenschaften mittels Abstraktion gebildet wird.

Sprache: de;

Quelle: **DIN 2342 Teil 1/10.92**

Abbildung 7-10: Darstellung eines terminologischen Eintrags im IGLOS

7.4.5 Realisierung der Versionierung

Durch die stetige Fortentwicklung von Sprache müssen zuvor nicht vorhandene Termini in ein

bestehendes Terminologiegebäude eingeordnet und bestehende Einträge gelöscht oder geändert werden können. Eine normativ verbindliche Terminologie ist als Maßstab im Rahmen der Rechtsordnung von Bedeutung. Diese muss jederzeit auch im Rückblick rekonstruierbar sein. Es ist daher ein hochentwickeltes Release- und Versionsmanagement erforderlich, welches es ermöglicht, frühere Versionen wiederherzustellen und zu referenzieren. Dies ist vor allem bei vertraglichen oder rechtlichen Anforderungen relevant. Da besonders Terminologien als Gesamtheit der in einem Fachgebiet geltenden Fachausdrücke enge Bezüge und Abhängigkeiten aufweisen, ist die Versionierung systemimmanenter Relationen genauso wichtig wie die Versionierung der Termini selbst. Das IGLOS berücksichtigt dies im Rahmen des Versionsmanagements.

IGLOS verfügt über ein anspruchsvolles, umfassendes Konzept zur Versionierung terminologischer Einträge. Der Ansatz der Versionierung zeichnet sich durch die folgenden Aspekte aus:

- Wie in Abbildung 7-11 dargestellt, erfolgt eine Versionierung auf der Grundlage der beiden Grundbausteine der Identifikationsnummer (ID) eines Datenbankeintrags und seines Zeitstempels. Die Einheit von ID und Zeitstempel konstituiert einen eindeutigen Terminus (Lexem), der einer *synchronen* (auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogenen) Betrachtungsweise zugänglich ist. Wird die ID ohne Bezug auf die spezifische Angabe eines Zeitstempels betrachtet, so referiert diese auf die Summe aller Zeitstempel zu dieser ID und erlaubt somit eine *diachrone Perspektive* auf den Terminus (das Lexem) und seine Entwicklung. IGLOS verknüpft die Aspekte der Diachronizität und der Synchronizität nach Saussure [Sau01] miteinander.
- IGLOS unterstützt die Systemhaftigkeit der Sprache. Daher bezieht sich die Versionierung nicht auf den einzelnen Eintrag, sondern auf das gesamte Netz seiner Beziehungen. Somit kann die Entwicklung einzelner Termini inklusive ihrer systemischen Vernetztheit über die Zeit nachverfolgt, beziehungsweise jeder Zustand eines Sprachsystems erhalten und bei Bedarf rekonstruiert werden. Diese systemischen Veränderungen werden nicht, wie bei bestehenden Systemen der Fall, gelöscht oder überschrieben.
- Ein Uniform Resource Identifier (URI) gibt einen Terminus (Lexem) oder einen relevanten Systemausschnitt (mehrere Termini/Lexeme inklusive ihrer Relationen) entweder zu einem spezifischen Zeitpunkt oder als generellen, immer auf die aktuellen Lexemversionen referenzierenden URI an. Dieser Uniform Resource Identifier ist über einen ebenso eindeutigen Uniform Resource Locator (URL) später jederzeit wieder über das Internet aufrufbar und zwar über beliebige Browser oder Applikationen. Dies bietet die Möglichkeit, dass über ein Plug-in aus dem in einer Applikation bearbeiteten Text heraus über entsprechende Verweise Ausschnitte eines Terminologiegebäudes oder einzelne Termini (Lexeme) jederzeit und überall aufgerufen werden können.

Abbildung 7-11 verdeutlicht die Versionierung anhand der zuvor dargestellten Varietät. Als konstituierender Bestandteil des im IGLOS abgebildeten Sprachsystems erhält auch die Varietät einen Zeitstempel und ist somit in ihrer Veränderung nachverfolgbar.

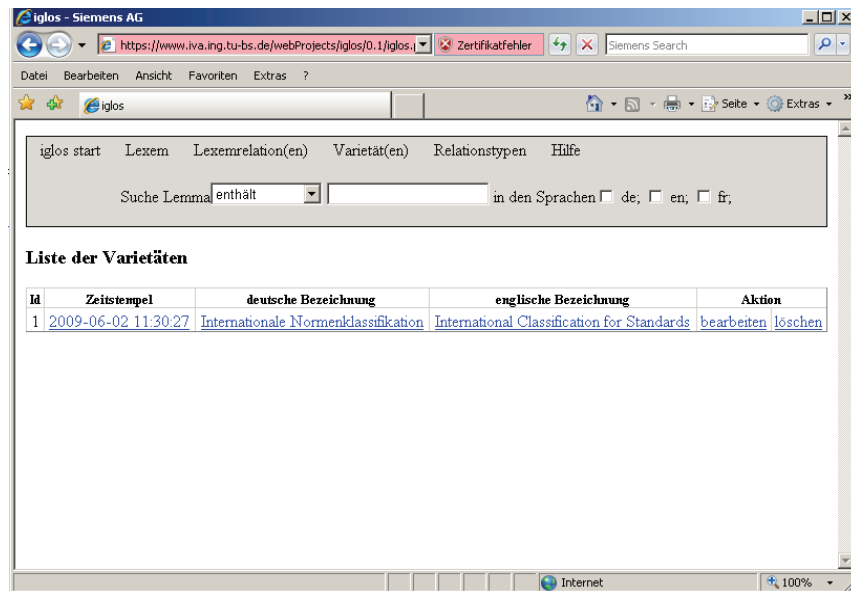


Abbildung 7-11: Versionsmanagement im IGLOS

### 7.4.6 Realisierung der Rekursivität des Zeichenmodells

Ein wesentliches Merkmal von IGLOS, welches ebenfalls bereits im Zusammenhang mit dem metasprachlichen Modell des Terminus erörtert wurde, ist die *Rekursivität*. Alle Relationstypen, Merkmale und Varietäten werden selbst als Lexeme aufgefasst und weisen ihrerseits wiederum die drei Konstituenten des trilateralen, varietätsbezogenen Zeichenmodells auf. In Abbildung 7-12 wird dies für ein Lexem der Varietät exemplarisch gezeigt.

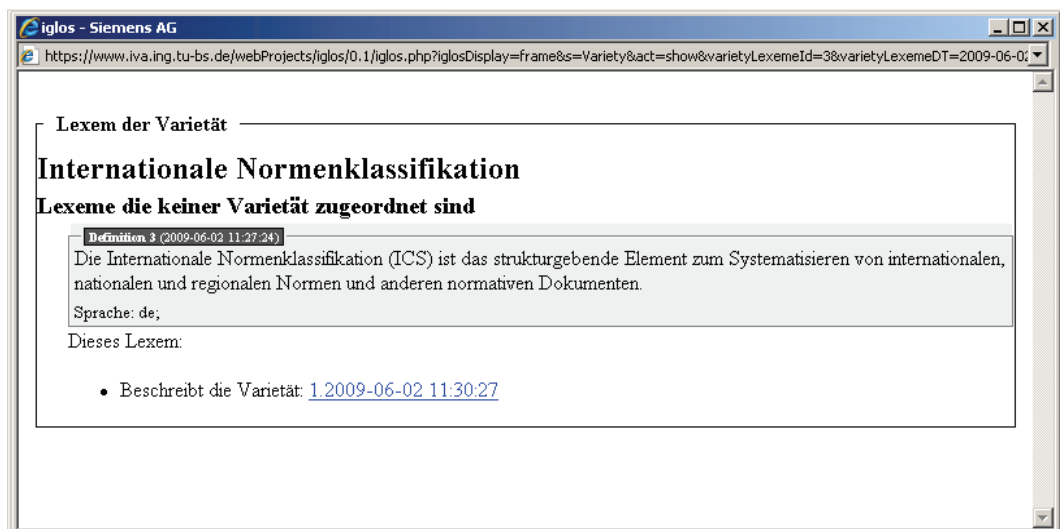


Abbildung 7-12: Rekursivität des IGLOS – Die Varietät als Terminus

Durch die Tatsache, dass die Varietät selbst wieder als Terminus (Lexem) aufgefasst wird, erbt sie den möglichen Modellierungsumfang des metasprachlichen Modells des Terminus. Dies erlaubt es, den eine Varietät beschreibenden Termus (Lexem) zu relationieren und auf diese Weise komplexe mehrsprachige Klassifikationsstrukturen aufzubauen:



- Durch die Nutzung einer *Übersetzungsrelation* können fremdsprachige Äquivalente ausgewiesen werden. Auf diese Weise ist es möglich, Querbezüge zwischen der *International Classification of Standards* der ISO und dem deutschsprachigen Äquivalent der vom DIN herausgegebenen *Internationalen Normenklassifikation* herzustellen.
- Durch die Nutzung einer *Notationsrelation* können den natürlichsprachlichen Klassennamen der Sachgebiete die Zeichenketten des genutzten Klassifikationsschemas zugeordnet werden. Dies erlaubt dem Benutzer beim Anlegen eigener terminologischer Einträge die Textsuche nach einer geeigneten Varietät. Wird eine Definition einer Norm übernommen, kann direkt nach der auf dem Titelblatt der Norm angegebenen Notation gesucht werden.
- Durch die Nutzung einer *Synonymierelation* können Entsprechungen zwischen verschiedenen Klassifikationssystemen dargestellt werden. Ein Klassenname der *Internationalen Normenklassifikation* kann auf diese Weise eine Entsprechung in anderen Klassifikationssystemen (Dezimalklassifikation oder Dewey Decimal Classification) zugeordnet werden.

Das Resultat dieser Relationen sind verschiedene parallel existierende Baumstrukturen der Varietäten. Ein Baumknoten ist dabei gleichzeitig ein Knoten eines Graphs, der durch äquivalente Termini (Lexeme) gebildet wird, die entweder ein Synonym, fremdsprachiges Äquivalent oder eine Notation (als Spezialfall der Synonymie) sind. Fachsprachliche Varietäten erscheinen somit als in sich kohärente und systemartige Gebilde im Sinne von „Sprachen in der Sprache“ [Ada97]. Somit wird im IGLOS, wie von [Lut07] postuliert, der Wortschatz der natürlichen Sprache konsequent als ein System von Systemen abgebildet.

Abbildung 7-13 zeigt, dass auch die Beschreibungen von Varietäten selbst einer Varietät zugeordnet sind. Die taxonomische Struktur der Klassifikationssysteme (im dargestellten Fall die Internationale Normenklassifikation) kann auf diese Weise dargestellt werden.

iglos start   Lexem   Lexemrelation(en)   Varietät(en)   Relationstypen   Hilfe

### Neue Varietät anlegen

**Deutsche Beschreibung der Varietät**

## Allgemeines. Terminologie. Normung. Dokumentation

### Varietät: Internationale Normenklassifikation

**Definition 9** (2009-06-08 17:31:45)  
Erste Ebene der Internationalen Normenklassifikation.  
Sprache: de; gültig seit 2009-06-01; gültig bis 2009-06-30;

Wenn Sie ein anderes Lexeme als Varietät auswählen möchten, dann wählen Sie dies über die folgende Suche aus.

Das Lemmalabel des Lexems

**Englische Beschreibung der Varietät**

## Generalities. Terminology. Standardization. Documentation

### Varietät: Internationale Normenklassifikation

**Definition 11** (2009-06-08 17:34:58)  
First level of the International Classification for Standards.  
Sprache: en; gültig seit 2009-06-01; gültig bis 2009-06-30;

Wenn Sie ein anderes Lexeme als Varietät auswählen möchten, dann wählen Sie dies über die folgende Suche aus.

Das Lemmalabel des Lexems

Neue Varietät anlegen

Abbildung 7-13: Rekursivität von Varietäten im IGLOS

### 7.4.7 Zusätzliche Lexemattribute

Zusätzlich zu den zuvor dargestellten Merkmalen des IGLOS-Kerns bietet das Terminologiemanagementsystem IGLOS weitere nennenswerte Vorteile:

- Hierarchische Attributstruktur der Intension eines Terminus: Die für die formalisierte Bedeutungsfestlegung (vgl. Kapitel 3) manchmal notwendige Abbildung qualitativer Eigenschaften auf physikalische Größen ist für die Ingenieurwissenschaften relevant, da hier oftmals abstrakte (nicht prinzipiell messbare) Eigenschaften in Merkmale (mess- und zählbare Ausprägungen) überführt werden müssen, bevor diese im Sinne kardinalskaliertter Merkmale in physikalischen Größen ausgedrückt werden können. IGLOS unterstützt diesen Vorgang durch die in Abschnitt 4.3.1 dargestellte hierarchische Attributstruktur.
- Der Export nutzerspezifischer Glossare wird möglich. Das IGLOS stellt eine gemeinsam nutzbare terminologische Basis zur Verfügung und erlaubt das dynamische Zusammenstellen projekt-, unternehmens- oder personenspezifischer Glossare. Über die Abbildung der diachronen Perspektive (vgl. Abschnitt 4.4.2) ist ebenfalls eine Nachvollziehbarkeit von Änderungen gewährleistet.
- Neben natürlichsprachlichen Bezeichnungen kann es notwendig oder hilfreich sein, weitere Erläuterungen in den Prozess der terminologischen Klärung miteinzubeziehen. Das IGLOS erlaubt es, einem Terminus verschiedenste digitale Objekte (Grafiken, Formeln, Bilder) zuzuordnen und diese zu archivieren.
- IGLOS leistet einen eindeutigen Quellverweis. In Anlehnung an den *Dublin Core*, welcher eine Konvention zur Beschreibung von Dokumenten und Objekten im Internet darstellt, können Fundstellen terminologischer Einträge eindeutig angegeben werden. Um zu verhindern, dass nicht dort ein Neologismus kreiert wird, wo es bereits adäquate Benennungen gibt, ist in der normativen Terminologiearbeit ein Querverweis zu vorhandenen terminologischen Festlegungen explizit erwünscht. In IGLOS ist es möglich, die verschiedenen Fundstellen zu der Originalquelle in Beziehung zu setzen.

## 8 Fazit

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und kritisch reflektiert. Darüber hinaus wird aufgezeigt, welche Aspekte in weiteren Arbeiten betrachtet werden können.

### 8.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Bedeutung der Kommunikation für die Entwicklung leittechnischer Systeme herausgestellt und aktuell bestehende Probleme erläutert. Auf dieser Motivation aufbauend wurde ein methodischer Ansatz entwickelt, der sich aus den Entwicklungsmitteln Beschreibungsmittel, Methoden und Werkzeuge konstituiert.

Der in der Arbeit dargelegte methodische Ansatz fußt auf einem Vorgehensmodell, welches basierend auf einer durchgehenden Nutzung formaler Beschreibungsmittel eine weitergehende fachsprachliche Bedeutungsfestlegung ermöglicht, als dies bislang in einer rein natürlichsprachlichen Vorgehensweise möglich war. Das vorgeschlagene Formalisierungskonzept ergänzt vorhandene, durch eine eingeschränkte semantische Mächtigkeit der Beschreibung gekennzeichnete, Empfehlungen um kausale und temporale Aspekte terminologischer Relationen. Auf dieser formalen Grundlage gelingt die Integration bislang isoliert nebeneinander bestehender Grundnormen der Terminologie, deskriptiven Statistik und Metrologie zu einem integrierten Modellkonzept des Terminus. Eine präzise Bedeutungsfestlegung bis auf die Ebene empirisch beobachtbarer oder prognostizierbarer Größen und Werte wird somit möglich.

Dank der neuartigen methodischen Vorgehensweise konnten Defizite der Terminologienormen aufgezeigt werden. Die im Rahmen dieser Arbeit konzipierte Vorgehensweise der formalisierten Bedeutungsfestlegung wurde auf die Modellierung eines formalisierten Terminologiesystems zur Verlässlichkeit technischer Systeme angewendet. Es wurde gezeigt, dass die einzelnen Termini durch ein Netz zwischen ihnen bestehender Bedeutungsbeziehungen abgebildet und so zu einem System zusammengefügt werden können. Es konnte somit ein Beitrag zur Eindeutigkeit des Fachvokabulars geleistet werden. Die in Abschnitt 3.1.2 erhobene Anforderung nach terminologischer Stringenz wurde durch spezifische Ziele der fachsprachlichen Bedeutungsfestlegung konkretisiert. Diese Ziele stellen die Grundlage für die nachfolgende Bewertung dar:

- Die *Konsistenz* des modellierten Terminologiegebäudes zur Verlässlichkeit wurde durch die Modellierung mit formalen Beschreibungsmitteln gefördert. Die Formalisierung im Sinne einer „Reduktion auf eine definierte Menge von Symbolen und zulässigen Kombinationen von Zeichen und Operationen nach Maßgabe der Zeichenbedeutung“ war hierfür förderlich [VDI05a].
- Die *Vollständigkeit* des Terminologiegebäudes zur Verlässlichkeit wurde durch die Beschreibungsmittel aufgezeigt. Die integrierte Modellierung statischer (Attributhierarchie

von Eigenschaft, Merkmal, Größe und Wert) und dynamischer Aspekte (Kausal- und Temporalrelation) stellt einen Beitrag zur *Vollständigkeit* des Terminologiegebäudes dar.

- Die *Eindeutigkeit und Redundanzfreiheit* von Termini kann durch eine stringente Formalisierung verbessert werden. Äquivalente Benennungen werden offenbar und der identifizierte exzessive Gebrauch von Synonymen in der Fachsprache der Verlässlichkeit kann wirksam verhindert werden.
- Die *Exaktheit* der sprachlichen Benennung kann durch eine an die verwendeten Beschreibungsmittel angepasste Benennungsbildung gefördert werden. Durch die Formalisierung können Zustände und Ereignisse in eine kausale Reihenfolge zueinander gebracht werden, was als Grundlage für die Auswahl einer passenden Benennung dient. Hierauf wird im nächsten Abschnitt als Potenzial für zukünftige Arbeiten eingegangen.
- Die *Verständlichkeit* wird durch die Formalisierung gefördert, da über die Flexibilität (und teilweisen Beliebigkeit) der natürlichen Sprache hinaus eine höhere sprachliche Prägnanz durch die verbindliche Vereinbarung von Sigmatik, Syntax und Semantik des Beschreibungsmittels zur Verfügung steht.
- Die *sprachliche Ökonomie* wird durch die Vermeidung von Synonymen und die Anlehnung der Benennungen an Modellkonzepte und Beschreibungsmittel gefördert. Der bislang vorliegenden Flexibilität natürlicher Sprache wird ein methodischer Rahmen zur Seite gestellt.
- Durch die mnemotechnischen Eigenschaften von Beschreibungsmitteln wird ein Beitrag zur besseren *Memorierbarkeit* des Terminologiegebäudes erreicht. Darüber hinaus wirkt sich die Beherrschung des „Dschungels der Normen“ [Lér08] positiv aus.

Ein weiterer Kern der Arbeit ist die Konzeption eines Terminologie-managementsystems, welches die Fachsprache in ihrer Komplexität abbildet. Durch sein linguistisches Fundament grenzt sich dieses System deutlich vom Stand der Technik ab und vermag die Sprache in ihrer Systemhaftigkeit, ihrem Varietätsbezug und ihrer Veränderung über die Zeit darzustellen. Das entwickelte Werkzeug ist hinsichtlich mehrerer Aspekte integrativ (Domänenintegration, räumliche Integration, Werkzeugintegration, Prozessintegration und Integration von Textbausteinen) und weist hinsichtlich seiner möglichen Integration in den Spezifikationsprozess leittechnischer Systeme ein über diese Arbeit hinausgehendes Potenzial auf. Das Konzipierte Terminologiemanagementsystem erlaubt die verteilte Erarbeitung und Abstimmung eines Fachwortschatzes in der Normungsarbeit und in der industriellen Praxis und ermöglicht dort eine fachübergreifende Kommunikation, wo bisher nur Unverständnis, Missverständnis und Ablehnung bestanden.

Das Terminologiemanagementsystem IGLOS bietet die folgenden Vorteile:

- Durch die *Unterstützung der diachronen Perspektive* wird es möglich, Änderungen an der Terminologie eines Fachgebietes zu dokumentieren, gegebenenfalls zu rekonstruieren und nachzuvollziehen. Dies ist vor allem bei einer Terminologie im rechtlichen und normativen Kontext von besonderer Bedeutung.
- Durch die Abbildung der in Abschnitt 4.3.1 entwickelten *hierarchischen Attributstruktur* wird die Modellierung der Intension eines Terminus unterstützt. Es besteht somit die

Möglichkeit einer weitergehenden Präzisierung bislang lediglich vage festgelegter Termini.

- Die geschilderte *Client-Server-Architektur* gewährleistet die Webfähigkeit und damit die innovative Chance, den Gesamtlebenszyklus einer Terminologiefestlegung aus Normen und Normenentwürfen verteilt und kollaborativ zu verfolgen [Pre06]. Dies berücksichtigt die Herausforderungen einer verstärkt regionalen und internationalen Normungsarbeit sowie der immer kürzer werdenden Bearbeitungszeiträumen der Normung.
- Die *Rekursivität* der Merkmale, Relationen und Varietäten erlaubt ihre Modellierung als Sprach(teil-)system. Hierdurch lassen sich beispielsweise hierarchische Sachgebietsklassifikationen für die Varietätszuordnung selbst als Terminologiegebäude erzeugen.
- Durch das zu Grunde liegende Modellkonzept des Terminus, welches als gleichberechtigtes Element die Varietät miteinbezieht (vgl. Abschnitt 4.1) ist es möglich, dass zwischen *verschiedenen Varietäten* die unterschiedliche Verständnisse dargestellt werden können, und *innerhalb einer Varietät* Polyvalenzen (es werden für den gleichen Gegenstand andere Merkmale als bedeutungsbestimmend angesehen, diese sind jedoch nicht bedeutungsunterscheidend) dargestellt werden können.
- Es können neue Relationstypen angelegt und somit die semantische Mächtigkeit der Modellierung der fachsprachlichen Terminologie an die Bedürfnisse des Nutzers angepasst werden.

## 8.2 Ausblick

In dieser Arbeit ist mit der Vorgehensweise der formalisierten Bedeutungsfestlegung eine Möglichkeit aufgezeigt worden, die Grenzfälle und Unschärfen bestehender Terminologieabbildungen zu lösen. Über diese Arbeit hinaus bietet sich weiteres Potenzial, die in dieser Arbeit konzipierte Vorgehensweise und das unterstützende Werkzeug IGLOS anzuwenden und weiterzuentwickeln.

### Terminologiemanagement in interdisziplinären Forschungsprojekten

Das im Rahmen dieser Arbeit konzipierte methodische Vorgehen eines Terminologiemanagements wird in interdisziplinären Forschungsprojekten angewendet. In den Projekten wird die Anwendbarkeit der Methode und des Werkzeugs mit dem Ziel evaluiert, einen Prozess der kontinuierlichen Verbesserung zu initiieren. Die Rückmeldungen der Anwender werden in zukünftige Versionen des Werkzeugs IGLOS einfließen.

- *Gauss Basisprojekt*: Das Galileo Zentrum für sicherheitskritische Anwendungen, Zertifizierungen und Dienstleistungen (GAUSS) hat zum Ziel, Anwendungspotenziale der satellitenbasierten Ortung in verschiedenen Verkehrsmoden zu eröffnen und bündelt hierbei die Kompetenzen von Projektpartnern verschiedener Anwendungsdomänen des Verkehrs. Im Kontext dieser interdisziplinären Zusammenarbeit ist es das Ziel, auf der Grundlage eines einheitlichen und domänenübergreifenden Terminologiegebäudes einen verkehrsträgerübergreifenden Zulassungs- und Zertifizierungsprozess inklusive der notwendigen Testinfrastruktur zu entwickeln, der den Vorgaben des Gesetzgebers bezüglich Sicherheit in den verschiedenen Verkehrsdomänen entspricht. Hierzu wird zurzeit das Terminologiemanagementsystem IGLOS samt des zugehörigen

Terminologiemangementprozesses zur Prüfung und Freigabe der Terminologie in dem Projekt eingeführt.

- *Projekt FAMOS*: Das Projekt FAMOS bringt Beteiligte verschiedener Anwendungsdomänen aus Industrie, Forschung und Wissenschaft in einem interdisziplinären Ansatz zusammen. Ziel dieses Projektes ist es, durch den Einsatz innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien und satelliten- und zellbasierten Ortungstechnologien geeignete Lösungsansätze zur Erhöhung der Sicherheit und der Mobilität im Straßenverkehr zu erarbeiten. Um aus einer Kombination unterschiedlicher Technikbereiche neue sicherheitskritische Fahrerassistenzsysteme und ortsbezogene Mobilitätsdienste zu entwickeln, ist auch hier eine gemeinsame terminologische Basis unabdingbar. Aus diesem Grund wird auch in diesem Projekt das Werkzeug IGLOS eingeführt und die dem Projekt zu Grunde liegende Terminologie im Rahmen eines umfassenden Terminologiemangements abgestimmt. Durch die Möglichkeit des IGLOS auch projektspezifische Glossare abbilden zu können, kann das Projekt FAMOS auf die im Gauss Basisprojekt abgestimmte Terminologie zugreifen. Es werden somit Synergiepotenziale zwischen diesen Projekten genutzt.

### **Konzeption einer Nomenklatur zur Verlässlichkeit technischer Systeme**

Um zukünftig einen reibungslosen Ablauf der gewerkeübergreifenden Zusammenarbeit über den gesamten Lebenslauf zu ermöglichen, sollte es zu einer größeren Sorgfalt in der Benennungsbildung kommen. Dies kann sich unter anderem in einer Nomenklatur für die Termini der Verlässlichkeit technischer Systeme äußern, welche sich an den dieser Arbeit zu Grunde liegenden Modellkonzepten des Terminus mit seiner hierarchischen Attributierung und dem Modellkonzept des Systems sowie der Funktionsimplementierung mit seiner Differenzierung zwischen Zuständen, Ereignissen und (technischen) Ressourcen orientiert. Bislang erfolgt die Benennungsbildung weitgehend unreflektiert. Von Interesse könnte eine weitere Untersuchung von Determinativkomposita sein, da diese eine häufige Form der Wortbildung in den Fachsprachen [VDI77] darstellen:

- Determinativkomposita bieten Potenzial hinsichtlich einer präziseren Benennungsbildung. Durch eine bewusste Nutzung dieses Instrumentariums der Wortbildung wäre eine präzisere Zuordnung von Termini zu den Kategorien „Zustand“, „Ereignis“ oder „Ressource“ möglich.
- Den Potenzialen steht die Gefahr von Mehrdeutigkeiten gegenüber. Die Bildung von Determinativkomposita stellt eine potenzielle Quelle von Mehrdeutigkeiten dar. Dies ist bislang im Kontext der Fachsprachenforschung noch nicht hinreichend betrachtet worden. Dieser Aspekt der Benennungsbildung ist daher nicht in der Terminologiegrundnormung berücksichtigt worden.

Das in dieser Arbeit entwickelte metasprachliche Modell des Terminus kann als methodisches Instrumentarium für eine Benennungsbildung verwendet werden. Die Stellung einzelner Termini innerhalb des Terminologiegebäudes erlaubt die Bildung von Benennungsregeln. Falls notwendig können somit Neologismen eingeführt werden oder bestehende Benennungen ersetzen. Die sprachwissenschaftlichen Grundlagen hierfür werden in den nächsten zwei Jahren im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Vorhabens ausgearbeitet.

## Anbindung des Terminologiemanagementsystems an das Semantic Web

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Realisierungskonzept eines integrativen Terminologiemanagementsystems als zentrales Wissensmodell ist bislang als relationale Datenbank realisiert. Denkbar wäre es, in der Zukunft die Möglichkeit der Anbindung an das *Semantic Web* zu ermöglichen. Hierdurch eröffnen sich weitere Möglichkeiten, die im IGLOS hinterlegte Terminologie zu nutzen.

In einer zweiten Stufe des IGLOS-Projekts könnte die *Client-Applikation* Abfragen beispielsweise in der Anfragesprache SPARQL (SPARQL – Protocol and RDF Query Language) generieren. SPARQL ist ein Standard für die Abfrage von in RDF spezifizierten Informationen und die Darstellung der Resultate (beispielsweise in tabellarischer Darstellung oder als RDF-Dokument) [HKR+07]. Über die in SPARQL formulierten Abfragen sind Zugriffe auf die terminologischen Daten über unterschiedliche Kriterien oder Kombinationen von Kriterien möglich.

In einer weiteren Stufe des IGLOS-Projekts wird der Schritt in Richtung Ontologiesprachen getan. Für eine Datenhaltung von RDF-Tripeln in relationalen Datenbanken gibt es verschiedene Ansätze. Einerseits existieren Systeme, die RDF-Tripel in relationalen Datenbanken ablegen und diese direkt ansprechen können. Hierzu bietet beispielsweise SESAME [Adu09] oder das Jena-Framework [Jen09] die Möglichkeit zur Speicherung und Abfrage von RDF-Tripeln in einer Datenbank. Auf der anderen Seite gibt es die Möglichkeit, eine konventionelle relationale Datenhaltung auf RDF-Tripel abzubilden. Dieser Weg könnte im Rahmen des IGLOS-Projekts im Weiteren verfolgt werden. Ein Beispiel hierfür ist das Werkzeug D2R-Server. Mittels der deklarativen Sprache D2RQ wird eine Abbildung zwischen relationalen Datenbankschemata und RDF-S/OWL Ontologien beschrieben. Das Open Source Projekt D2RQ wurde in Java implementiert und kann RDF-Daten in einem auf dem Jena API basierenden virtuellen Graphen behandeln. Die Mapping Plattform ist somit eine Middleware. Ein solches anwendungsneutrales Programm vermittelt zwischen verschiedenen Anwendungen. Sie ermöglicht den entkoppelten Systemkomponenten den Datenaustausch und erfüllt die folgenden Funktionen:

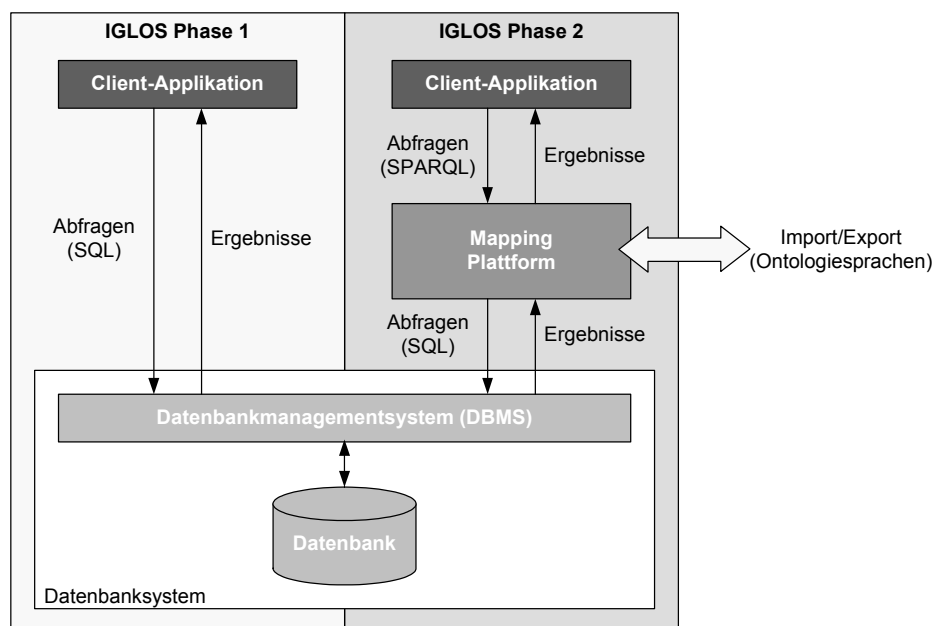


Abbildung 8-1: Erweiterung des IGLOS



- *Schnittstelle für Anfragen:* Die Anfragesprache stellt die gesuchte Information als RDF-Teilgraph dar. Nach diesem Graph-Muster wird im gegebenen Datenbestand gesucht. Die in SPARQL formulierte Anfrage wird an das Mapping-Werkzeug übergeben, welche die Abbildung der RDF-Anfrage auf die relationalen Daten vornimmt.
- *Datenbankschnittstelle:* Nach erfolgreichem Mapping der RDF-Anfrage auf die relationalen Daten wird eine SQL-Abfrage generiert und die Datenbank abgefragt. Die Daten werden zurückgegeben, das Resultatset nach RDF transformiert und an den Webserver übergeben. Es wird an den Client gesendet und dort dargestellt.

Liegt eine Repräsentation der Terminologie in einer Ontologiesprache vor, so kann diese im Rahmen der Suchmaschinenoptimierung genutzt werden. Für Unternehmen ist es unerlässlich, sich mit Suchmaschinen-Optimierung zu beschäftigen. Wenn ein Anwender nach einem bestimmten Stichwort sucht, muss es über vorhandene Synonym-Konzepte ermöglicht werden, auch Seiten zu diesen verwandte Benennungen zu finden [Stu07]. Das Ziel ist es, auch Suchanfragen zu unterstützen, die Dokumente finden, in denen das Stichwort selbst gar nicht vorkommt, vielleicht aber ein Synonym davon oder der englischsprachige Ausdruck dafür [BP06].

Als Erweiterung des existierenden World Wide Web ordnet das Semantic Web Informationen eine wohldefinierte Bedeutung zu. Um die Bedeutung der Informationen formalisiert festzuhalten, werden im Semantic Web Meta-Daten beispielsweise im RDF-Format verwendet. Den Prozess des Hinzufügens von semantischen Meta-Daten zu Dokumenten, die den Inhalt eines Dokuments in maschinenverarbeitbarer Form beschreiben, nennt man *semantische Annotation*. Für die Annotation werden Ontologien verwendet. Die Konzepte aus den Ontologien werden über Uniform Resource Identifiers (URI) referenziert. Denkbar wäre hier die Verlinkung auf das im IGLOS modellierte Terminologiegebäude. Das semantische Annotieren eines Dokuments stellt einen zeitaufwändigen Prozess dar, der zusätzlich zum Erstellen des eigentlichen Dokuments durchgeführt werden muss. Daher werden Annotierungswerkzeuge benötigt, die dem Benutzer den Annotierungsprozess soweit wie möglich erleichtern. Dies kann beispielsweise über integrierte Ontologiebrowser geschehen, indem man Konzepte zur Annotation auswählen kann [Rei06][Kol06]. Der Zusammenhang zwischen der Ontologie und den annotierten Webseiten ist in Abbildung 8-2 dargestellt.

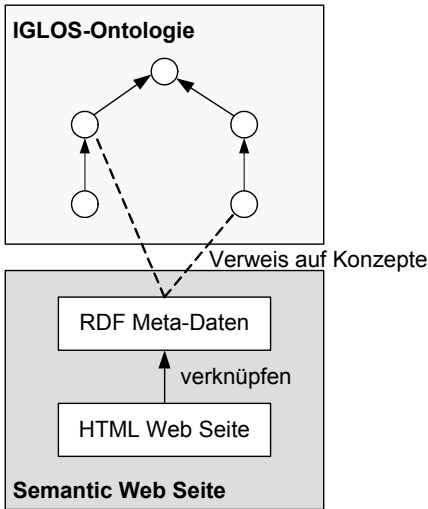


Abbildung 8-2: Prinzip der semantischen Anreicherung durch Annotation

# Abkürzungsverzeichnis

CAE	Computer Aided Engineering
CLC	Controlled Language Checker
CMM	Capability Maturity Model
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
Eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften
HTML	Hypertext Markup Language
ICS	International Classification for Standards
IEC	International Electrotechnical Commission
IEV	International Electrotechnical Vocabulary
IGLOS	Intelligentes Glossar
ISO	International Organization for Standardization
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MAD	Mean Administrative Delay
MDA	Model Driven Architecture
MDT	Mean Down Time
MSC	Message Sequence Charts
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTF	Mean Time to Failure
MTRR	Mean Time to Restoration
MUT	Mean Up Time
NAT	Normenausschuss Terminologie
OWL	Web Ontology Language
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RDF	Resource Description Framework
SA	Strukturierte Analyse

SPARQL	SPARQL Query Language for RDF
SPICE	Software Process Improvement and Capability Determination
STEP	Standard for the Exchange of Product model Data
SQL	Structured Query Language
TMS	Terminologiemangementsystem
UML	Unified Modelling Language
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
XML	Extensible Markup Language

# Literaturverzeichnis

## Normen, Richtlinien und Gesetze

- [BSI08] BSI-Standard 100-4: *Notfallmanagement*. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn, 2008.
- [CEN07a] CLC/TR 50126-2:2007: *Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) -- Part 2: Guide to the application of EN 50126-1 for safety*. European Committee for Standardization, Brüssel, 2007.
- [DIN00a] DIN EN 50126:2000-3: *Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS); Deutsche Fassung EN 50126:1999*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [DIN00b] DIN 2344:2000-05: *Ausarbeitung und Gestaltung von terminologischen Festlegungen in Normen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [DIN01a] DIN EN 13306:2001-09: *Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN 13306:2001*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [DIN01b] DIN V 19222:2001-09: *Leittechnik – Begriffe*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [DIN01c] DIN EN 50128:2001-11: *Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Software für Eisenbahnsteuerungs- und Überwachungssysteme; Deutsche Fassung EN 50128:2001*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [DIN01d] DIN EN 50159-2:2001-12: *Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Teil 2: Sicherheitsrelevante Kommunikation in offenen Übertragungssystemen; Deutsche Fassung EN 50159-2:2001*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [DIN02a] DIN 53804-1:2002-04: *Statistische Auswertung - Teil 1: Kontinuierliche Merkmale*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002.
- [DIN02b] DIN EN 13701:2002-11: *Luft- und Raumfahrttechnik – Glossar, Dreisprachige Fassung EN 13701:2001*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002.
- [DIN03a] DIN 31051:2003-06: *Grundlagen der Instandhaltung*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003.
- [DIN03b] DIN 25002-1:2003-10: *Bahnanwendungen - Kennzeichnungssystematik für Schienenfahrzeuge - Teil 1: Grundlagen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003.
- [DIN03c] DIN EN 50129:2003-12: *Bahnanwendungen - Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme - Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik; Deutsche Fassung EN 50129:2003*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2003.

- [DIN04a] DIN 2342:2004-09: *Begriffe der Terminologielehre*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2004.
- [DIN05a] DIN-Fachbericht 144: *Sicherheit, Vorsorge und Meidung in der Technik*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [DIN05b] DIN EN 61511-1:2005-05: *Funktionale Sicherheit – Sicherheitstechnische Systeme für die Prozessindustrie – Teil 1: Allgemeines, Begriffe, Anforderungen an Systeme, Software und Hardware; Deutsche Fassung EN 61511-1:2004*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [DIN05c] DIN EN 62061:2005-10: *Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme (IEC 62061:2005); Deutsche Fassung EN 62061:2005*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [DIN05d] DIN EN ISO 9000:2005-12: *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 9000:2005*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [DIN06a] DIN VDE 0831:2006-04: *Elektrische Bahn-Signalanlagen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [DIN06b] DIN IEC 61508-4:2006-07: *Funktionale Sicherheit elektrischer/elektronischer/programmierbar elektronischer sicherheitsbezogener Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen (IEC 65A/470/CD:2005)*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [DIN07] DIN EN 45020:2007-03: *Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten - Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004); Dreisprachige Fassung EN 45020:2006*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [DIN08a] DIN 820-2:2008-05: *Normungsarbeit - Teil 2: Gestaltung von Dokumenten*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [DIN08b] DIN IEC 62551:2008-10: *Analysemethoden für Zuverlässigkeit – Petrinetzmodellierung (Norm-Entwurf; IEC 56/1266/CD:2008)*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [DIN08c] DIN EN ISO 13849-1:2008-12: *Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze (ISO 13849-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2008*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [DIN80] DIN 2331:1980-04: *Begriffssysteme und ihre Darstellung*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1980.
- [DIN82a] DIN 53804-3:1982-01: *Statistische Auswertungen; Ordinalmerkmale*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1982.
- [DIN82b] DIN 13303-1:1982-05: *Stochastik; Wahrscheinlichkeitstheorie, Gemeinsame Grundbegriffe der mathematischen und der beschreibenden Statistik;*

- Begriffe und Zeichen.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1982.
- [DIN82c] DIN 55350-21:1982-05: *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe der Statistik; Zufallsgrößen und Wahrscheinlichkeits-verteilungen.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1982.
- [DIN 85a] DIN 53804-2:1985-03: *Statistische Auswertungen; Zählbare (diskrete) Merkmale.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [DIN85b] DIN 53804-4:1985-03: *Statistische Auswertungen; Attributmerkmale.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [DIN85c] DIN 6763:1985-12: *Nummerung; Grundbegriffe.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [DIN87a] DIN 32705:1987-01: *Klassifikationssysteme; Erstellung und Weiterentwicklung von Klassifikationssystemen.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1987.
- [DIN87b] DIN 1463-1:1987-11: *Erstellung und Weiterentwicklung von Thesauri; Einsprachige Thesauri.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1987.
- [DIN89] DIN 55350-12:1989-03: *Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Merkmalsbezogene Begriffe.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1989.
- [DIN90] DIN 40041:1990-12: *Zuverlässigkeit; Begriffe.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1990.
- [DIN93a] DIN 1463-2:1993-10: *Erstellung und Weiterentwicklung von Thesauri; Mehrsprachige Thesauri.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1993.
- [DIN93b] DIN 2330:1993-12: *Begriffe und Benennungen; Allgemeine Grundsätze.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1993.
- [DIN94a] DIN 19226-1:1994-02: *Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Allgemeine Grundbegriffe.* Beuth Verlag, Berlin, 1994.
- [DIN94b] DIN 820-1:1994-04: *Normungsarbeit; Grundsätze.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1994.
- [DIN95] DIN 1319-1:1995-01: *Grundlagen der Meßtechnik - Teil 1: Grundbegriffe.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1995.
- [DIN98] DIN 1313:1998-12: *Größen.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998.
- [DIN99a] DIN V 19259-2:1999-06: *Gerätedokumentation - Datentypen mit Klassifikationsschema für Stellventile.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- [DIN99b] DIN EN 60770-1:1999-11: *Meßumformer zum Steuern und Regeln in Systemen der industriellen Prozeßtechnik - Teil 1: Methoden für die Bewertung des Betriebsverhaltens (IEC 60770-1:1999); Deutsche Fassung EN 60770-1:1999.* Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- [EBA03] Eisenbahn-Bundesamt: *Technische Grundsätze für die Zulassung von*

*Sicherungsanlagen (Mü8004). Ausgabe 01.08.2003, München, 2003.*

- [Eur01a] Europäische Kommission: *Richtlinie 2001/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2001 zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen.* Amtsblatt der Europäischen Union (75):26-28, 2001.
- [Eur01b] Europäische Kommission: *Richtlinie 2001/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2001 über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn und die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur.* Amtsblatt der Europäischen Union (75):29-46, 2001.
- [Eur01c] Europäische Kommission: *Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems.* Amtsblatt der Europäischen Union (110):1-27, 2001.
- [EUR04a] Europäische Kommission: *Richtlinie 2004/49/EG vom 29. April 2004 über die Eisenbahnsicherheit.* Amtsblatt der Europäischen Union (164):44-113, 2004.
- [Eur04b] Europäische Kommission: *Richtlinie 2004/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 zur Änderung der Richtlinie 96/48/EG des Rates über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und die Richtlinie 2001/16/EG über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems.* Amtsblatt der Europäischen Union (220):40-57, 2004.
- [Eur91] Europäische Kommission: *Richtlinie 91/440/EWG des Rates vom 29. Juli 1991 zur Entwicklung der Eisenbahnunternehmen in der Gemeinschaft.* Amtsblatt der Europäischen Union (237):25-28, 1991.
- [Eur95a] Europäische Kommission: *Richtlinie 95/18/EG des Rates vom 19. Juni 1995 über die Erteilung von Genehmigungen von Eisenbahnunternehmen.* Amtsblatt der Europäischen Union (143):70-74, 1995.
- [Eur95b] Europäische Kommission: *Richtlinie 95/19/EG des Rates vom 19. Juni 1995 über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn und die Berechnung von Weegeentgelten.* Amtsblatt der Europäischen Union (143):75-78, 1995.
- [Eur96a] Europäische Kommission: *Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems.* Amtsblatt der Europäischen Union (235):6-24, 1996.
- [IEC03] IEC 60300-3-1:2003-01: *Dependability management - Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability - Guide on methodology.* VDE Verlag, Berlin, 2003.
- [IEC06] IEC 62290-1:2006-7: *Railway Applications – Urban guided transport management and command/control systems; Part 1: System principles and*

*fundamental concepts*. VDE Verlag, Berlin, 2006.

- [IEC90] IEC 60050-191:1990-12: *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 191: Dependability and quality of service*. VDE Verlag, Berlin, 1990.
- [IEC98] IEC 60050-821:1998-04: *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 821: Signalling and security apparatus for railways*. VDE Verlag, Berlin, 1998.
- [IEE90] IEEE 610.12: *Glossary of software engineering terminology*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1990.
- [IEE99] IEEE1474: *Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- [ISO00a] ISO 1087-1:2000-10: *Terminology work - Vocabulary - Theory and application*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [ISO00b] ISO 704:2000-11: *Terminology work - Principles and methods*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [ISO02a] ISO 12616:2002-03: *Translation-oriented terminography*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002.
- [ISO02b] ISO/IEC Guide 73:2002: *Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002.
- [ISO04] ISO/IEC 15909-1:2004-12: *Software and system engineering – High level Petri nets – Part 1: Concepts, definitions and graphical notation*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2004.
- [ISO05] ISO/IEC 19501:2005-04: *Information technology - Open Distributed Processing - Unified Modeling Language (UML) Version 1.4.2*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [ISO06] ISO/IEC 15504-5:2006-3: *Information technology – Process Assessment – Part 5: An exemplar Process Assessment Model*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [ISO07a] ISO 860:2007-11: *Terminology work - Harmonization of concepts and terms*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [ISO07b] ISO/IEC Guide 99:2007-12: *International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007.
- [ISO08a] ISO/TR 24156:2008-11: *Guidelines for using UML-notation in terminology work*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [ISO08b] ISO/CD 26262: *Road Vehicles – Functional Safety*. International Organization for Standardization, Genf, 2008.
- [ISO09] ISO: SMB/3971/DC: *ISO/IEC Draft Guide: Guidelines for the inclusion of security aspects in standards*. International Organization for Standardization,



Genf, 2009.

- [ISO85] ISO 5964:1985-02: *Documentation; Guidelines for the establishment and development of multilingual thesauri*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [ISO86] ISO 2788:1986-11: *Documentation; Guidelines for the establishment and development of monolingual thesauri*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1986.
- [ISO99a] ISO 12620:1999-10: *Computer applications in terminology - Data categories*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- [ISO99b] ISO/IEC Guide 51:1999: *Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1999.
- [RTC99] Radio Technical Commission for Aeronautics: *DO-178B, Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification*. RTCA Inc., Washington, 1999.
- [VDI00] VDI 3633 Blatt 1:2000-03: *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Grundlagen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [VDI04] VDI 2206:2004-06: *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2004.
- [VDI05a] VDI/VDE 3682:2005-09: *Formalisierte Prozessbeschreibungen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [VDI05b] VDI/VDE 3681:2005-10: *Einordnung und Bewertung von Beschreibungsmitteln aus der Automatisierungstechnik*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [VDI06] VDI 4001 Blatt 2:2006-07: *Terminologie der Zuverlässigkeit*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [VDI08] VDI 4008 Blatt 4:2008-07: *Methoden der Zuverlässigkeit - Petri-Netze*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2008.
- [VDI63] VDI 2270:1963-01: *Adjektivbildungen mit los und.... frei; Sprachlicher Ausdruck für die Abwesenheit*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1963.
- [VDI64] VDI 2271:1964-03: *Wörter auf -ung; Sprachlicher Ausdruck für ablaufende und abgeschlossene Vorgänge*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1964.
- [VDI65] VDI 2273:1965-12: *Adjektivbildungen mit -bar, -haft, -lich und -sam*. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1965.
- [VDI66] VDI 2272:1996-06: *Der Bindestrich; Schriftzeichen bei Wortzusammensetzungen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1966.
- [VDI67a] VDI 2274:1967-01: *Verben auf -ieren, -isieren und -fizieren; Endungen zum Eindeutschen von Fremdverben*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1967.
- [VDI67b] VDI 2275:1967-09: *Wörter auf -er; Täterbezeichnungen –*

- Gerätebezeichnungen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1967.
- [VDI69] VDI 2276:1969-08: *Verben mit den Vorsilben be-, ent-, er-, ge-, miß-, ver- und zer-*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1969.
- [VDI74] VDI 2277:1974-01: *Erweiterte Verben*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1974.
- [VDI76] VDI 2278:1976-01: *Benennungen durch Personennamen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1976.
- [VDI77] VDI 3771:1977-09: *Zusammengesetzte Substantive in den technischen Fachsprachen; Determinativkomposita*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1977.
- [VDI85] VDI 4001 Blatt 1:1985-10: *Allgemeine Hinweise zum VDI-Handbuch Technische Zuverlässigkeit*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1985.
- [VDI93] VDI 2221:1993-05: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1993.
- [VDI98] VDI 2342 Blatt 2:1998-07: *Sicherheitstechnische Begriffe für Automatisierungssysteme - Blatt 2: Quantitative Begriffe und Definitionen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998.

## Weitere Fachliteratur

- [Ada97] Adamzik, Kirsten: *Fachsprachen als Varietäten*. In: Hoffmann, Lothar, Kalverkämper, Hartwig; Wiegand, Herbert-Ernst; Galinski, Christian; Hüllen, Werner (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 14 (Teilband 1): Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft*, Seiten: 181-189. de Gruyter, Berlin, 1997.
- [Adu09] Aduna: <http://www.openrdf.org>, Stand: 16.02.2009.
- [Ait97] Aitchison, Jean: *Wörter im Kopf – Eine Einführung in das mentale Lexikon*. Niemeyer, Tübingen, 1997.
- [AL98] Abel, Dirk; Lemmer, Karsten (Herausgeber): *Theorie ereignisdiskreter Systeme; Tutorium des GMA-Ausschusses 1.8 „Methoden der Steuerungstechnik“*. Oldenbourg, München, 1998.
- [APM04] Arntz, Reiner; Picht, Heribert; Mayer, Felix: *Einführung in die Terminologearbeit*. Georg Olms Verlag, Hildesheim, 2004.
- [Apr74] Apresjan, Jurij Derenikovič: *Regular Polysemy*. Linguistics. 142:5–32, 1974.
- [Ara05] Arabestani, Saeid: *Formal verifizierbare objektorientierte Systemspezifikationen mit UML für Eisenbahnsicherungssysteme*. In: Pahl, Jörn (Herausgeber): *Schriftenreihe des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der Technischen Universität Braunschweig*, Heft 67. Braunschweig, 2005.
- [BBE02] Bahke, Torsten; Blum, Ulrich; Eickhoff, Gisela: *Normen und Wettbewerb*.

Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2002.

- [BBM07] Bock, Ulrich; Boettcher, Sven; Müller, Lars: *Praxisorientierte Mitarbeiterqualifizierung in der Bahnindustrie*. Der Nahverkehr 25 (4):49–52, 2007.
- [Ber04] Berruto, Gaetano: *Sprachvarietät – Sprache (Gesamtsprache, historische Sprache)*. In: Ammon, Ulrich; Dittmar, Norbert, Mattheier, Klaus J.; Trudgill, Peter (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 3 (Teilband 1): Ein internationales Handbuch zur Wissenschaft von Sprache und Gesellschaft*, Seiten: 188-194. de Gruyter, Berlin, 2004.
- [Ber69] Bertalanffy, Ludwig von: *General System Theory – Foundations, Development, Application*. George Braziller, New York, 1969.
- [BH97] Becker, Andrea; Hundt, Markus: *Die Fachsprache in der einzelsprachlichen Differenzierung*. In: Hoffmann, Lothar; Kalverkämper, Hartwig; Wiegand, Herbert Ernst (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 14 (Teilband 1): Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft*, Seiten: 118-132. de Gruyter, Berlin, 1997.
- [Bie83] Bierwisch, Manfred: *Semantische und konzeptuelle Repräsentation lexikalischer Einheiten*. In: Ruzicka, Rudolf; Motsch, Wolfgang (Herausgeber): *Untersuchungen zur Semantik*, Seiten 61-99. Akademie Verlag, Berlin, 1983.
- [Bie97] Biere, Bernd-Ulrich: *Verständlichkeit beim Gebrauch von Fachsprachen*. In: Hoffmann, Lothar, Kalverkämper, Hartwig; Wiegand, Herbert-Ernst; Galinski, Christian; Hüllen, Werner (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 14: Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft*, Seiten: 402-407. de Gruyter, Berlin, 1997.
- [BJ06] Baranek, Michael; Jakob, Volker: *Zustandsorientierte Instandhaltung von Güterwagen*. EI – Eisenbahningenieur, 57(5):35-39, 2006.
- [Bod06] Bodendorf, Freimut: *Daten- und Wissensmanagement*. Springer, Berlin, 2006.
- [BP06] Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo: *Semantic Web und semantische Technologien: Zentrale Begriffe und Unterscheidungen*. In: Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo (Herausgeber): *Semantic Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft*. Springer, Berlin, 2006.
- [BR03] Braband, Jens; Reder, Hanns-Joachim: *Sicherheitstechnische Vorgehensweisen in Eisenbahnsignaltechnik und Luftfahrt*. Signal + Draht, 95(1):12-14, 2003.
- [Bra07] Braband, Jens: *A proposal for common safety methods for risk assessment in European railways*. Signal + Draht, 99(4):34-27, 2007.
- [Bra08a] Braband, Jens: *Einheitliches Risikoakzeptanzkriterium für technische Systeme*

- bei europäischen Bahnen. Signal + Draht, 100(7 + 8):25-29, 2008.
- [Bra08b] Braband, Jens: *Nachweis mindestens gleicher Sicherheit gegenüber Referenzsystemen*. Signal + Draht, 100(12):39-43, 2008.
- [Bro02a] Brown, Cecil H.: *Paradigmatic relations of inclusion and identity I: Hyponymy*. In: Cruse, Alan D.; Hundsnurscher, Franz; Job, Michael; Lutzeier, Peter Rolf (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 1*, Seiten: 472-480. de Gruyter, Berlin, 2002.
- [Bro02b] Brown, Cecil H.: *Paradigmatic relations of inclusion and identity II: Meronymy*. In: Cruse, Alan D.; Hundsnurscher, Franz; Job, Michael; Lutzeier, Peter Rolf (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 1*, Seiten: 480-485. de Gruyter, Berlin, 2002.
- [BS02] Bikker, Gert; Schroeder, Martin: *Methodische Anforderungsanalyse und automatisierter Entwurf sicherheitsrelevanter Eisenbahnleitsysteme mit kooperierenden Werkzeugen*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Fortschritt-Berichte VDI, Nr. 571 in Reihe 12, Dissertation; Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2002*.
- [Bud06] Budin, Gerhard: *Kommunikation in Netzwerken – Terminologiemanagement*. In: Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo (Herausgeber): *Semantic Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft*. Springer, Berlin, 2006.
- [Bun09] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: *Normungs-politisches Konzept der Bundesregierung*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 2009.
- [Car59] Carnap, Rudolf: *Induktive Logik und Wahrscheinlichkeit*. Springer, Wien, 1959.
- [Car66] Carnap, Rudolf: *Physikalische Begriffsbildung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1966.
- [CEN07b] Cenelec Survey Group for afety-related standards: *Revision Outline Specification EN 50126 Part 1 – Terms & Definitions*, 2007.
- [CHM02] Curtis, Bill; Hefley, William E.; Miller, Sally: *The People Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Workforce*. Addison-Wesley, Reading, 2002.
- [CJS98] Chouika, Mourad; Janhsen, Axel; Schnieder, Eckehard: *Klassifikation und Bewertung von Beschreibungsmitteln für die Automatisierungs-technik*. Automatisierungstechnik, 46(12):582-592, 1998.
- [Cru02a] Cruse, Alan D.: *Paradigmatic relations of inclusion and identity: Synonymy*. In: Cruse, Alan D.; Hundsnurscher, Franz; Job, Michael; Lutzeier, Peter Rolf (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft*,

*Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 1*, Seiten: 485-497. de Gruyter, Berlin, 2002.

- [Cru02b] Cruse, Alan D.: *Paradigmatic relations of exclusion and opposition II: Reversivity*. In: Cruse, Alan D.; Hundsnurscher, Franz; Job, Michael; Lutzeier, Peter Rolf (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 1*, Seiten: 507-510. de Gruyter, Berlin, 2002.
- [Cus94] Cushing, Steven: *Fatal Words – Communication Clashes and Aircraft Crashes*. The University of Chicago Press, Chicago, 1994.
- [Deu04] Deutsches Institut für Normung e.V.: *Die Deutsche Normungsstrategie*. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2004.
- [Deu05] Deutsches Institut für Normung e.V.: *Umsetzung der Deutschen Normungsstrategie durch das DIN Deutsches Institut für Normung e. V. - Das Jahr 2005 Ein erster Rückblick*. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2005.
- [Deu08] Deutsches Institut für Normung e.V.: *Geschäftsbericht 2008*. Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2008.
- [Deu09a] Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE: *Arbeitsbereich DKE UK 921.1 Begriffe der Leittechnik*. Rundschreiben Nr. 921.1\_2009-004.
- [Deu09b] Deutsche Akademie der Techniwissenschaften:  
<http://www.acatech.de/de/themennetzwerke/sicherheit.html>, Stand: 11.05.2009. Der Ergebnisbericht des Themennetzwerks erscheint voraussichtlich im Oktober 2009 in der Reihe „Projektberichte – acatech berichtet und empfiehlt.“
- [DH08] Drewer, Petra; Horend, Sybille: *Die Kontrolle der Kontrolle – Sprachtechnologie und maschinelles Lektorat im Unternehmen*. Technische Kommunikation, 29(04):22-26, 2007.
- [Die07] Diedrich, Rainer: *Psycholinguistik*. Metzler, Stuttgart, 2007.
- [DIN00c] Deutsches Institut für Normung e.V.: *Gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Normung: Zusammenfassung der Ergebnisse; wissenschaftlicher Endbericht mit praktischen Beispielen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000.
- [DIN04b] Deutsches Institut für Normung e.v.: *Die Deutsche Normungsstrategie*. Berlin, 2004.
- [DMS09] Diedrich, Christian; Mühlhause, Mathias; Suchold, Nico: *Automatisierungstechnisches Glossar als semantisches Netz*. In: Tagungsband Automation 2009, 16.-17.06.2009. Tagungsort: Baden-Baden.
- [Dob06] Dobrovolskij, Dmitrij: *Reguläre Polysemie und verwandte Erscheinungen*. In: Proost, Kristel; Winkler, Edeltraud (Herausgeber): *Von Intentionalität zur*

- Bedeutung konventionalisierter Zeichen*. Festschrift für Gisela Harras zum 65. Geburtstag, Seiten 29-64. Narr Verlag, Tübingen, 2006.
- [Dro94] Drosdowski, Günther: *Sprachentwicklung – Sprachnormen – Sprachkultur*. DIN-Mitteilungen 73(5):321-327, 1994.
- [EG05] Ebersbach, Anja; Glaser, Markus: *Wiki*. Informatik Spektrum, 28(2):131-135, 2005.
- [Epp08] Epple, Ulrich: *Begriffliche Grundlagen der leittechnischen Modellwelt – Teil 1: Terminologielehre, Systemmodellierung*. Automatisierungstechnische Praxis, 50(4):83-91, 2008.
- [Eur08] Kommission der Europäischen Union: *Für einen stärkeren Beitrag der Normung zur Innovation in Europa*. Mitteilung 34 der Europäischen Kommission KOM(2008) 133, Brüssel, 2008.
- [Eur96b] Europäische Kommission: *Weissbuch – Eine Strategie zur Revitalisierung der Eisenbahn in der Gemeinschaft*. KOM(96)421, 1996.
- [EWZ+00] Eibl, Michael; Westphal, Dirk; Zgorzelski, Peter; Kaptein, Uwe; Rudolf, Hans-Joachim: *eCI@ss – ein Werkzeug zur Unterstützung der Prozesse im eCommerce, der Materialwirtschaft und der Anlagendokumentation, bezogen auf das PLT-Gewerk*. Automatisierungstechnische Praxis, 42(10):33-43, 2000.
- [FB89] Felber, Helmut; Budin, Gerhard: *Terminologie in Theorie und Praxis*. Gunter Narr Verlag, Tübingen, 1989.
- [FHR08] Fieber, Florian; Huhn, Michaela; Rumpe, Bernhard: *Modellqualität als Indikator für Softwarequalität: eine Taxonomie*. Informatik Spektrum, 31(5):408-424, 2008.
- [FKP+00] Fahrmeir, Ludiwg; Künstler, Rita; Pigeot, Iris; Tutz, Gerhard: *Statistik – Der Weg zur Datenanalyse*. Springer, Berlin, 2000.
- [Flu96] Fluck, Hans-Rüdiger: *Fachsprachen*. A. Francke Verlag, Tübingen, 1996.
- [FPU+07] Felleisen, Michael; Polke, Burkard; Ulrich, Alexander; Leber, Thorsten; Fay, Alexander; Enste, Udo: *Werkzeugunterstützte Erstellung formalisierter Prozessbeschreibungen. Entwicklung eines Software-Werkzeuges mit grafischer Projektierungsoberfläche zur verbesserten Planung von Produktionsanlagen auf der Basis der formalisierten Prozessbeschreibung nach VDI/VDE-Richtlinie 3682*. In: Tagungsband des GMA-Kongresses 2007 „Automation im gesamten Lebenszyklus“, Seiten 119-125, VDI-Berichte Nr. 1980, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2007. Tagungsort: Baden-Baden.
- [FR95a] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred: *Römpp Chemie Lexikon, Bd. 3: H – L*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1995.
- [FR95b] Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred: *Römpp Chemie Lexikon, Bd. 4: M – Pk*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1995.

- [Fre77] Frege, Gottlob: *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*. In: Angelelli, Ignacio: *Gottlob Frege - Begriffsschrift und andere Ansätze*. Georg Olms Verlag, Hildesheim, 1977.
- [FS04] Fleischmann, Eberhard; Schmitt, Peter A.: *Fachsprachen und Übersetzung*. In: Kittel, Harald; Frank, Armin, Paul; Greiner, Norbert; Hermans, Theo; Koller, Werner; Lambert, José; Paul, Fritz (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 26: Ein internationales Handbuch zur Übersetzungsforschung*, Seiten: 531-542. de Gruyter, Berlin, 2004.
- [FT02] Fauconnier, Gilles; Turner, Mark: *The way we think. Conceptual blending and the mind's hidden complexities*. Basic Books, New York, 2002.
- [Gab01] Gabriel, Carl-Heinz: *Welchen Nutzen bietet die Terminologiedatenbank DIN-TERM für die technische Dokumentation?* DIN-Mitteilungen, 80(7):524-527, 2001.
- [Gal07] Galinski, Christian: *New ideas on how to support terminology standardization projects*. eDITion, 3(1):7-10, 2007.
- [Gal09] Galinski, Christian: *History of ISO/TC 37 and Infoterm*. eDITion, 5(2):19-23, 2009.
- [GKZ95] German, Reinhard; Kelling, Christian; Zimmermann, Armin; Hommel, Günter: *TimeNet – A Toolkit for Evaluating Non-Markovian Stochastic Petri Nets*. Performance Evaluation (24):69-87, 1995.
- [Gey09] Geyer-Hayden, Barbara: *Wissensmodellierung im Semantic Web*. In: Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo (Herausgeber): *Social Semantic Web*. Springer, Berlin, 2009.
- [GFC04] Gómez-Pérez, Asunción; Fernández-López, Mariano; Concho, Oscar: *Ontological Engineering*. Springer, London, 2004.
- [GH08] Glöckle, Bernd; Hoppe, Birgit-Maria: *Terminology-Management-System – Anforderungsperspektiven, Nutzeffekte und Umsetzung*. In: Tagungsband tekom-Jahrestagung 2008, Seiten 287-289. Tagungsort: Wiesbaden.
- [GHK+06] Gausemeier, Jürgen; Hahn, Axel; Kespohl, Hans D.; Seifert, Lars: *Vernetzte Produktentwicklung – Der erfolgreiche Weg zum global Engineering Networking*. Hanser, München, 2006.
- [GHS06] Gerstenkorn, Alfred; Hums, Lothar; Schmidt, Armin (Herausgeber): *Die Sprache der Bahn – Zur deutschen Eisenbahnsprache im europäischen Kontext*. In: Ockenfeld, Marlies (Herausgeber): *Reihe Informationswissenschaft der DGI*, Band 8, Deutschen Gesellschaft für Informationswissenschaft und Informationspraxis e.V., Frankfurt am Main, 2006.
- [GK08] Geiger, Walter; Kotte, Willi: *Handbuch Qualität – Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme – Perspektiven*. Vieweg, Wiesbaden, 2008.

- [Gla97] Glasersfeld, Ernst von: *Radikaler Konstruktivismus: Ideen, Ergebnisse, Probleme*. Frankfurt, Suhrkamp, 1997.
- [Glä07] Gläser, Stefan: *Logische Analyse offener Kommunikations-architekturen für Kraftfahrzeuge*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Fortschritt-Berichte VDI*, Nr. 658 in Reihe 12, Dissertation; Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2007.
- [Glo97] Gloy, Klaus: *Sprachnormen und die Isolierung und Integration von Fachsprachen*. In: Hoffmann, Lothar, Kalverkämper, Hartwig; Wiegand, Herbert-Ernst; Galinski, Christian; Hüllen, Werner (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 14: Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft*, Seiten: 100-109. de Gruyter, Berlin, 1997.
- [Göp07] Göpferich, Susanne: *Sprachstandard oder Kontrollmechanismus? Textqualität steuern mit kontrollierter Sprache*. Technische Kommunikation, 29(4):16-21, 2007.
- [GT00] Graham, John, D.; Tanke, Eberhard: *Qualitätssicherung in der Übersetzung technischer Dokumentation*. In: Hennig, Jörg; Tjarks-Sobhani, Marita: *tekomp Schriften zur technischen Kommunikation – Band 3*. Verlag Schmidt-Römhild, Lübeck, 2001.
- [GW02] Guarino, Nicola; Welty, Christopher: *Evaluating ontological decisions with OntoClean*. Communications of the ACM (CACM) 45(2):61-65, 2002.
- [Hab08] Haberland, Katharina: *Unternehmensterminologie bei Siemens Energy Sector*. eDITion 4(2):8-9, 2008.
- [Hai01] Haider Munske, Horst: *Wortschatzwandel im Deutschen. Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 2*, Seiten: 1385-1398. de Gruyter, Berlin, 2001.
- [Hän08] Hänsel, Frank: *Zur Formalisierung technischer Normen*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Fortschritt-Berichte VDI*, Nr. 787 in Reihe 10, Dissertation; Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2008.
- [Hau04] Hauschildt, Jürgen: *Innovationsmanagement*. Verlag Vahlen, München, 2004.
- [HE03] Heeg, Michael; Epple, Ulrich: *Vergleich und Erweiterung bestehender Klassifikationssysteme und deren Merkmalmodelle*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Entwurf komplexer Automatisierungssysteme*, 8. Fachtagung Entwurf komplexer Automatisierungstechnik, Seiten 81-93. Braunschweig, 2003.
- [Her09] Herzog, Gottfried: *106 Jahre Terminologienormung – ein großer Nutzen für die Wirtschaft*. eDITion 5(2):15-18, 2009.
- [HBP+07] Hungar, Hardi; Bruhns, Gerhard; Plan, Oliver; Lemke, Oliver: *Oprail – Normenkonforme Entwicklung sicherheitsrelevanter Software unter Einsatz*



der UML. Signal + Draht, 99(9):6-12, 2007.

- [Hec06] Heckl, Reiner W.: *Mit kollegialen Grüßen... Sprachdummheiten in der Medizin*. Steinkopff Verlag, Darmstadt, 2006.
- [HF07] Herrmann, Christoph; Fiebach, Christian: *Gehirn & Sprache*. Fischer, Frankfurt, 2007.
- [HKR+07] Hitzler, Pascal; Krötzsch, Markus; Rudolph, Sebastian; Sure, York: *Semantic Web*. Springer, Berlin, 2007.
- [HM08] Hesse, Wolfgang; Mayr, Heinrich C.: *Modellierung in der Softwaretechnik: eine Bestandsaufnahme*. Informatik Spektrum, 31(5):377-393, 2008.
- [Hof04] Hoffmann, Lothar: *Language of Specific Purposes / Fachsprache*. In: In: Ammon, Ulrich; Dittmar, Norbert, Mattheier, Klaus J.; Trudgill, Peter (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 3 (Teilband 1): Ein internationales Handbuch zur Wissenschaft von Sprache und Gesellschaft*, Seiten: 232-237. de Gruyter, Berlin, 2004.
- [Hom03] Homberger, Dietrich: *Sprachwörterbuch zur Sprachwissenschaft*. Reclam, Stuttgart, 2003.
- [Jan06] Jansen, Sebastian: *Eine Methodik zur modellbasierten Partitionierung mechatronischer Systeme*. In: Abramovici, Michael; Welp, Ewald Georg (Herausgeber): *Schriftenreihe des Instituts für Konstruktionstechnik*, Heft 07.03, Shaker-Verlag, Aachen, 2006.
- [Jan97] Janhsen, Axel: *Anthropozentrische Modellierung und Spezifikation komplexer Systeme am Beispiel von Eisenbahnleitsystemen*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Fortschritt-Berichte VDI*, Nr. 696 in Reihe 8, Dissertation; Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1997.
- [Jen09] Jena Semantic Web Framework. <http://jena.sourceforge.net>. Stand: 16.02.2009.
- [Jen92] Jensen, Kurt: *Coloured Petri Nets; Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use, Volume 1*. Springer Verlag, Berlin, 1992.
- [Jen95] Jensen, Kurt: *Coloured Petri Nets; Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use, Volume 2*. Springer Verlag, Berlin, 1995.
- [Kal97] Kalverkämper, Hartwig: *Fach und Fachwissen*. In: Hoffmann, Lothar, Kalverkämper, Hartwig; Wiegand, Herbert-Ernst; Galinski, Christian; Hüllen, Werner (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 14: Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft*, Seiten: 1-24. de Gruyter, Berlin, 1997.
- [Kel95] Keller, Rudi: *Zeichentheorie: zu einer Theorie semiotischen Wissens*. Francke, Tübingen, 1995.

- [Kem07] Kemnitz, Guenter: *Test und Verlässlichkeit von Rechnern*. Springer, Berlin, 2007.
- [Kie06] Kiencke, Uwe: *Ereignisdiskrete Systeme: Modellierung und Steuerung verteilter Systeme*. München, Oldenbourg, 2006.
- [Kil07] Kilimnik, Kenneth S.: *Land der unkalkulierbaren Risiken? Grundlage der US-amerikanischen Produkthaftung*. Technische Kommunikation, 29(1):50-55, 2007.
- [Klu02] Kluge, Friedrich: *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*. de Gruyter, Berlin, 2001.
- [Kne07] Kneuper, Ralf: *CMMI – Verbesserung von Software- und Systementwicklungsprozessen mit Capability Maturity Model Integration*. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2007.
- [Kno07] Knollmann, Volker: *UML-basierte Testfall- und Systemmodelle für die Eisenbahnleit- und –sicherungstechnik*. In: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrssystemtechnik (Herausgeber): *Berichte aus dem Institut für Verkehrssystemtechnik*, Band 1; Braunschweig, 2007.
- [Kol06] Koller, Andreas: *Web Content und Content Management Systeme: Ohne Struktur kein Semantic Web*. In: Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo (Herausgeber): *Semantic Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft*. Springer, Berlin, 2006.
- [Kor99] Kortmann, Bernd: *Linguistik: Essentials – Anglistik, Amerikanistik*. Cornelsen, Berlin, 1999.
- [KS02] Kammel, Karl; Schneider, Frank: *Technische Zulassung von Eisenbahnsicherungsanlagen unter dem Aspekt des Übergangs von nationalen zu europäischen Sicherheitsstandards*. In: Verband Deutscher Eisenbahningenieure e.V.: *Eisenbahningenieurkalender: EIK; Jahrbuch für Schienenverkehr und Technik*. Eurailpress, Darmstadt, 2002.
- [KS06] Kienreich, Wolfgang; Strohmeier, Markus: *Wissensmodellierung – basis für die Anwendung semantischer Technologien*. In: Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo (Herausgeber): *Semantic Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft*. Springer, Berlin, 2006.
- [Lap92] Laprie, Jean-Claude (Herausgeber): *Dependability: Basic Concepts and Terminology in English, French, German, Italian and Japanese*. Springer, Wien, 1992.
- [Lar92] Larenz, Karl: *Methodenlehre der Rechtswissenschaft*. Springer, Berlin, 2005.
- [Lem95] Lemmer, Karsten: *Diagnose diskret modellierter Systeme mit Petrinetzen*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Fortschritt-Berichte VDI*, Nr. 446 in Reihe 8, Dissertation; Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995.
- [Lér08] Lérévérend, Patrick: *Inside the standardization jungle: IEC 62061 and ISO*

- 13849-1 *complementary or competing?* In: Proceedings 5<sup>th</sup> Petroleum and Chemical Industry Conference Europe - Electrical and Instrumentation Applications, 2008. Tagungsort: Weimar.
- [Lev95] Leveson, Nancy, G.: *Safeware – System Safety and Computers*. Addison-Wesley, Reading, 1995.
- [Lew04] Lewandowska-Tomaszczyk, Barbara: *Lexical Problems of Translation*. In: Kittel, Harald; Frank, Armin, Paul; Greiner, Norbert; Hermans, Theo; Koller, Werner; Lambert, José; Paul, Fritz (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 26: Ein internationales Handbuch zur Übersetzungsforschung*, Seiten: 455-465. de Gruyter, Berlin, 2004.
- [Lit80] Littmann, Günter: *Fachsprachliche Syntax – zur Theorie und Praxis sprachvariantenbezogener Syntaxforschung*. Helmut Buske Verlag, Hamburg, 1980.
- [LJ03] Lakoff, George; Johnson, Mark: *Metaphors we live by*. University of Chicago Press, Chicago, 2003.
- [LK07] Lemnitzer, Lothar; Kuntze, Claudia: *Computerlexikographie*. Narr, Tübingen, 2007.
- [Löb02] Löbner, Sebastian: *Semantik – Eine Einführung*. de Gruyter, Berlin, 2002.
- [Löf05] Löffler, Heinrich: *Germanistische Soziolinguistik*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2005.
- [Luh08] Luhmann, Niklas: *Einführung in die Systemtheorie*. Carl Auer Verlag, Heidelberg, 2008.
- [Lut07] Lutzeier, Peter Rolf: *Lexikologie*. Stauffenberg, Tübingen, 2007.
- [Mal06] Malik, Fredmund: *Strategie des Managements komplexer Systeme: ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme*. Haupt Verlag, Bern, 2006.
- [Man99] Mankiw, Nicholas Gregory: *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1999.
- [Mas09] Maschek, Ulrich: *Eine generische Sicht auf die Betriebssicherheit im spurgeführten Verkehr*. EI – Eisenbahningenieur, 60(1):36-41, 2009.
- [MB05] Müller, Lars; Bock, Ulrich: *Mitarbeiterqualifizierung in der Eisenbahnzulieferindustrie*. In: Tagungsband 20. Verkehrswissenschaftliche Tage, 2005. Tagungsort: Dresden.
- [Mey04] Meyer zu Hörste, Michael: *Methodische Analyse und generische Modellierung von Eisenbahnleit- und –sicherungssystemen*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 12, Nr. 571*, Dissertation, Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 2004.

- [MF87] Müller-Foell, Martina: *Die Bedeutung technischer Normen für die Konkretisierung von Rechtsvorschriften*. C.F. Müller Juristischer Verlag, Heidelberg, 1987.
- [MP03] Meyna, Arno; Pauli, Bernhard: *Taschenbuch der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik – Quantitative Bewertungsverfahren*. Hanser, München, 2003.
- [MP84] Möhn, Dieter; Pelka, Roland: *Fachsprachen – Eine Einführung*. Niemeyer, Tübingen, 1984.
- [MS06] Müller, Lars; Schnieder, Eckehard: *Prozessoptimierung als Beitrag zur Sicherheitskultur in der Eisenbahnindustrie*. Eisenbahntechnische Rundschau, 55(10):698-703, 2006.
- [Mue07] Muegge, Uwe: *Disciplining words – what you always wanted to know about terminology management*. Tcworld, (5):17-19, 2007.
- [Mül07] Müller, Lars: *Knotenmanagement im Schienenverkehr*. in: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Verkehrsleittechnik*. Springer, Berlin, 2007.
- [MV98] Maturana, Humberto; Varela, Francisco Javier: *The Tree of Knowledge*. Shambhala, Boston, 1998.
- [Neu04] Neubert, Albrecht: *Equivalence in Translation*. In: Kittel, Harald; Frank, Armin, Paul; Greiner, Norbert; Hermans, Theo; Koller, Werner; Lambert, José; Paul, Fritz (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 26: Ein internationales Handbuch zur Übersetzungsforschung*, Seiten: 329-342. de Gruyter, Berlin, 2004.
- [NZ92] Nunberg, Geoffrey; Zaenen, Annie: *Systemic Polysemie in Lexicology and Lexicography*. In: EURALEX '92: Proceedings I-II; Seiten 387-396 (Tagungsort: Tampere), 1992.
- [Obe99] Ober, Bernhard: *Modellgestützte Synthese ereignisdiskreter Steuerungen*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Fortschritt-Berichte VDI*, Nr. 760 in Reihe 8, Dissertation; Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999.
- [Obj09] Object Management Group: <http://www.omg.org/mda>, Stand: 16.02.2009.
- [Ola07] Olasz, Johann: *Mangelhafte Fehlermeldungen – 250 Meldungen unter der Lupe*. Technische Kommunikation, 29(1):50-52, 2007.
- [OR74] Ogden, Charles Kay; Richards, Ivor Armstrong: *Die Bedeutung der Bedeutung*. Suhrkamp, Frankfurt, 1974.
- [Ort05] Ortner, Erich: *Sprachbasierte Informatik – Wie man mit Wörtern die Cyber-Welt bewegt*. Edition am Gutenbergplatz, Leipzig, 2005.
- [Ort74] Orth, Bernhard: *Einführung in die Theorie des Messens*. Kohlhammer, Stuttgart, 1974.

- [Ort97] Ortner, Erich: *Methodenneutraler Fachentwurf*. Teubner, Stuttgart, 1997.
- [Pa00] Pacht, Jörn: *Betriebliche Rückfallebenen auf Strecken mit selbsttätigem Streckenblock*. Signal + Draht, 92(7+8):5-9, 2000.
- [Pet94] Peters, Rolf Wolfgang: *Informationsstrukturen für das Gebiet der Prozessleittechnik und ihre Präsentation in einem Hypermediasystem*. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen, 1994.
- [PH08] Plan, Oliver; Hiebenthal, Thorsten: *Modellbasierte Methoden – der Schlüssel zur Modularisierung und Standardisierung*. Signal + Draht 100(11):15-18, 2008.
- [Pic08] Pich, Hans: *Translation Reuse Strategies*. In: Tagungsband tekomp-Jahrestagung 2008, Seiten 392-394. Tagungsort: Wiesbaden.
- [PN02] Pacht, Jörn; Naumann, Peter: *Leit- und Sicherungstechnik im Bahnbetrieb – Fachlexikon*. Tetzlaff-Verlag, Hamburg, 2002.
- [Pöh06] Pöhlmann, Ulrike: *Die terminologische Normung*. Studie im Rahmen des Projekts „Innovation mit Normen und Standards“, Deutsches Institut für Normung e.V., 2006.
- [Pop84] Popper, Karl Raimund: *Objektive Erkenntnis – Ein evolutionärer Entwurf*. Hoffmann und Campe, Hamburg, 1984.
- [Por99] Porter, Michael: *Wettbewerbsstrategie – Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten*. Campus, Frankfurt, 1999.
- [Pre06] Preissner, Annette: *Webbasierte Bereitstellung und Pflege von Fachterminologien*. Studie im Rahmen des Projekts „Innovation mit Normen und Standards“, Deutsches Institut für Normung e.V., 2006.
- [PWW07] [PWW07] Prütting, Hanns; Wegen, Gerhard; Weinreich, Gerd: *BGB Kommentar (2. Auflage)*. Luchterhand, Neuwied, 2007.
- [Rak02] Rakowsky, Uwe Kay: *Systemzuverlässigkeit: Terminologie, Methoden, Konzepte*. LiLoLe-Verlag, Hagen, 2002.
- [Rat05] Rat für Deutschsprachige Terminologie: *Berufsprofil Terminologe/Terminologin*. [http://www.iim.fh-koeln.de/radt/Dokumente/RaDT\\_Berufsprofil.pdf](http://www.iim.fh-koeln.de/radt/Dokumente/RaDT_Berufsprofil.pdf), Stand: 14.03.2009.
- [Reg78] Regelmann, Siegfried: *Abstraktionsprozesse beim Modelllernen: Die Vergrößerung der Wirkungsbreite durch vorhergehendes Konzeptlernen*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1978.
- [Rei06] Reif, Gerald: *Semantische Annotation*. In: Blumauer, Andreas; Pellegrini, Tassilo (Herausgeber): *Semantic Web – Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft*. Springer, Berlin, 2006.
- [Ren00] Renpenning, Frank: *Zuverlässigkeitsmanagement in der Eisenbahnsignaltechnik*. Signal + Draht 92(4):5-11, 2000.

- [Roe99] Roelcke, Thorsten: *Fachsprachen*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1999.
- [Rop99] Ropohl, Günter: *Allgemeine Technologie – eine Systemtheorie der Technik*. Hanser, München, 1999.
- [Rum04] Rumpe, Bernhard: *Modellierung mit UML: Sprache, Konzepte und Methodik*. Springer, Berlin, 2004.
- [Sau01] Saussure, Ferdinand de: *Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft*. de Gruyter, Berlin, 2001.
- [Sax99] Saxer, Ulrich: *Der Forschungsgegenstand der Medienwissenschaft*. In: Leonhard, Joachim-Felix; Ludwig, Hans-Werner; Schwarze, Dietrich; Straßner, Erich (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 15: Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen, Teilband 1*, Seiten: 1-14. de Gruyter, Berlin, 1999.
- [SBB+07] Schaffert, Sebastian; Bry, François; Baumeister, Joachim; Kiesel, Malte: *Semantic Wiki*. Informatik Spektrum 30(6):434-439, 2007.
- [SC96] Schwarz, Monika; Chur, Jeannette: *Semantik – Ein Arbeitsbuch*. Narr Verlag, Tübingen, 1996.
- [Sch02a] van Schrick, Dirk: *Entepetives Management – Konstrukt, Konstruktion, Konzeption – Entwurf eines Begriffssystems zum Umgang mit Fehlern, Ausfällen und anderen nichterwünschten technischen Phänomenen*. Shaker-Verlag, Aachen, 2002.
- [Sch02b] Schmidt-Wiegand, Ruth: *Berufsbezogene Wortschätze*. In: Cruse, Alan D.; Hundsnerscher, Franz; Job, Michael; Lutzeier, Peter Rolf (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 1*, Seiten: 888-898. de Gruyter, Berlin, 2002.
- [Sch03] Schnieder, Eckehard: *Integration heterogener Modellwelten in der Automatisierungstechnik*. In: Nagl, Manfred; Westfechtel, Bernhard (Herausgeber): *Modelle, Werkzeuge und Infrastrukturen zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen*. Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
- [Sch05] Schwintowski, Hans-Peter: *Juristische Methodenlehre*. Verlag Recht und Wirtschaft, Frankfurt am Main, 2005.
- [Sch06] Schermer, Franz J.: *Lernen und Gedächtnis*. Kohlhammer, Stuttgart, 2006.
- [Sch08a] Schwarz, Monika: *Einführung in die kognitive Linguistik*. A. Francke Verlag, Tübingen, 2008.
- [Sch08b] Schnieder, Lars: *Towards terminological rigour in the specification of complex automation systems*. In: Schnieder, Eckehard; Tarnai, Geza (Herausgeber): *Proceedings of Symposium FORMS/FORMAT – formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems*. Seiten 141-148,

Budapest, Ungarn, Oktober 2008.

- [Sch09] Schuppe, Axel: *Cross-Acceptance – Das Schengen auf der Schiene*. El - Eisenbahningenieur 60(1):28-31, 2009.
- [Sch89] Schmidt, Günter Diedrich: *Diachronische Markierungen im allgemeinen einsprachigen Wörterbuch*. In: Hausmann, Franz Josef; Reichmann, Oskar; Wiegand, Herbert Ernst; Zgusta (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 5: Ein internationales Handbuch zur Lexikographie, Teilband 1*, Seiten: 657-662. de Gruyter, Berlin, 1989.
- [Sch99] Schnieder, Eckehard: *Methoden der Automatisierungstechnik – Beschreibungsmittel, Modellkonzepte und Werkzeuge für Automatisierungssysteme*. Vieweg, Braunschweig, 1999.
- [SD08] Schnieder, Eckehard; Drewes, Jörn: *Merkmale und Kenngrößen zu Bemessung der Verkehrssicherheit*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 54(3):117-123, 2008.
- [SH05] Stahlknecht, Peter; Hasenkamp, Ulrich: *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. Springer, Berlin, 2005.
- [SH06] Seewald-Heeg, Uta; Herwartz, Rachel: *Ähnliche Funktionen – unterschiedliche Konzeption – Über-blick über gängige Terminologieverwaltungssysteme*. Mitteilungen für Dolmetscher und Übersetzer 52(3):10-21, 2006.
- [SJ01] Schnieder, Eckehard; Jansen, Lars: *Begriffsmodelle der Automatisierungstechnik – Basis effizienten Engineerings*. In: Schnieder, Eckehard (Herausgeber): *Engineering komplexer Automatisierungssysteme*, 7. Fachtagung Entwurf komplexer Automatisierungstechnik, Seiten 1-37. Braunschweig, 2001. Tagungsort: Braunschweig.
- [Slo06] Slovák, Roman: *Methodische Modellierung und Analyse von Sicherungssystemen des Eisenbahnverkehrs*. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2007.
- [Sou07] Soukup-Unterweger, Hildegard: *Von Z bis A – Basiswissen Terminologie*. Technische Kommunikation, 29(1):45-49, 2007.
- [Spi00] Spitzer, Manfred: *Geist im Netz – Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 2000.
- [Spi94] Spiegel, Heinz-Rudi: *Deutsch als Sprache der Normung – die sprachliche Verantwortung des DIN*. DIN-Mitteilungen, 73(5):338-344, 1994.
- [SS07] Schnieder, Lars; Schnieder, Eckehard: *Formalisierung von Begriffs- und Modellkonzepten zur Beschreibung der Funktionsimplementierung in Eisenbahnleit- und -sicherungssystemen*. In: Tagungsband 21. Verkehrswissenschaftliche Tage, 2007. Tagungsort: Dresden.
- [SS08a] Stock, Wolfgang, G.; Stock, Mechtild: *Wissensrepräsentation – Informationen*

- auswerten und bereitstellen*. Oldenbourg Verlag, München, 2008.
- [SS08b] Schnieder, Eckehard; Schnieder, Lars: *Axiomatik der Begriffe für die Automatisierungstechnik*. *Automatisierungstechnische Praxis*, 50(10): 62-73, 2008.
- [SS09a] Schnieder, Eckehard; Schnieder, Lars: *Ein Begriffssystemansatz zur Zuverlässigkeit auf formalisierter Grundlage*. In: VDI Wissensforum GmbH (Herausgeber): *Technische Zuverlässigkeit 2009: Entwicklung und Betrieb zuverlässiger Produkte*. Düsseldorf, April 2009. Tagung Technische Zuverlässigkeit - TTZ/Leonberg, VDI-Verlag.
- [SS09b] Schnieder, Lars; Stein, Christian: *Neue Wege durch den Fachwortschangel*. MDÜ- Mitteilungen für Dolmetscher und Übersetzer, 55(3):24-27, 2009.
- [SSW05] Schnieder, Eckehard; Slovák, Roman; Wegele, Stefan: *New and conventional measures for quantifying risk in rail transport*. *Journal of System Safety* 41(1), 2005.
- [Ste99] Stephan, Silvio: *Migrationsstrategien in der Leittechnik*. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen/Mainz, 1999.
- [Stu07] Sturz, Wolfgang: *Terminologiemanagement als Fundament für effektives Wissensmanagement*. *eDITion*, 3(1):15-17, 2007.
- [SW49] Shannon, Claude Elwood; Weaver, Warren: *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Champaign-Urbana, 1998.
- [Tab01] Tabossi, Patrizia: *The processing of ambiguous words*. In: Cruse, Alan D.; Hundsnurscher, Franz; Job, Michael; Lutzeier, Peter Rolf (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 21: Ein internationales Handbuch zur Natur und Struktur von Wörtern und Wortschätzen, Teilband 2*, Seiten: 1730-1734. de Gruyter, Berlin, 2001.
- [Teu01] Teubert, Wolfgang: *Terminologie und Globalisierung – Terminologiedatenbanken und terminologische Grundsatznormung als Standortfaktoren in einer globalen Wirtschaft*. *DIN-Mitteilungen* 80(8):594-597, 2001.
- [UIC01] Union Internationale des Chemins de Fer: *Rail Lexic 3.0*. Veröffentlicht auf CD-ROM, Paris, 2001.
- [Uni09] University of Southamton School of electronics and Computer Science: *The ReSIST Resilience Knowledge Base*. <http://users.ecs.soton.ac.uk/aoj04r/resist.owl>, Stand: 12.01.2009.
- [VA98] Völz, Horst; Ackermann, Peter: *Die Welt in Zahlen und Skalen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1998.
- [Ves02] Vester, Frederic: *Die Kunst vernetzt zu denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 2002.



- [VG01] Voss, Stefan; Gutenschwager, K.: *Informationsmanagement*. Springer, Berlin, 2001.
- [WBJ69] Watzlawick, Paul; Beavin, Janet H.; Jackson, Don D.: *Menschliche Kommunikation – Formen, Störungen, Paradoxien*. Huber, Bern, 1997.
- [Wei01] Weiler, Petra: *Die Terminologiestelle des DIN und ihre Terminologiedatenbank DIN-TERM*. DIN-Mitteilungen, 87(7):516-519, 2001.
- [Wei08a] Weidmann, Ulrich: *Konsequenzen der EU-Verkehrspolitik für den Eisenbahnbetrieb*. EI - Eisenbahningenieur 59(5):44-47, 2008.
- [Wei08b] Weissinger, Reinhard: *Normen als Datenbanken und die Entwicklung von Wissen*. DIN-Mitteilungen 87(7):12-15, 2008.
- [Wik09] Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wiki>; Stand: 10.01.2009.
- [Wie71] Wiener, Norbert: *Kybernetik – Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine*. Rowohlt, Reinbek, 1971.
- [Wil00] Willke, Helmut: *Systemtheorie I – Grundlagen*. Lucius & Lucius, Stuttgart, 2000.
- [Wis01] Wischhöfer, Cord: *Terminologie und Übersetzen als Qualitätselemente der Normungsarbeit – Beschleunigung der Normungsarbeit durch moderne Sprachtechnik*. DIN-Mitteilungen, 80(8):598-601, 2001.
- [Woh08] Wohlfahrt, Nicole: *alfaloc – Terminologiemanagement mit System*. eDITion, 4 (2):5-7, 2008.
- [Wol08] Wollbrink, Birgit: *Terminologieprüfung einfach und schnell? Konsistenzsicherung mit docuterm*. Technische Kommunikation, 30(06):42-46, 2008.
- [Wol89] Wolski, Werner: *Das Lemma und die verschiedenen Lemmatypen*. In: Hausmann, Franz Josef; Reichmann, Oskar; Wiegand, Herbert Ernst; Zgusta (Herausgeber): *Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Band 5: Ein internationales Handbuch zur Lexikographie, Teilband 1*, Seiten: 360-371. de Gruyter, Berlin, 1989.
- [Wor08] World Wide Web Consortium: *OWL Web Ontology Language Use Cases and Requirements*. <http://www.w3.org/TR/webont-req/>, Stand: 26.02.2008.
- [Wüs31] Wüster, Eugen: *Internationale Sprachnormung in der Technik, besonders in der Elektrotechnik*. Dissertation Technische Hochschule Stuttgart, VDI-Verlag, Berlin, 1931.
- [Wüs78] Wüster, Eugen: *Einführung in die Allgemeine Terminologielehre und Terminologische Lexikographie*. Springer, Wien, 1978.
- [Zer08a] Zerfaß, Angelika: *Tools in der Terminologearbeit*. In: Tagungsband tekomp-Jahrestagung 2008, Seiten 287-289. Tagungsort: Wiesbaden.

- [Zer08b]      Zerfaß, Angelika: *Terminology Extraction*. In: Tagungsband tekomp-Jahrestagung 2008, Seiten 303-304. Tagungsort: Wiesbaden.
- [Zoe02]      Zoeller, Hans-Joachim: *Handbuch der ESTW-Funktionen: Die Sicherungsebene im elektronischen Stellwerk*. Tetzlaff, Hamburg, 2002.
- [ZR06]      Zielinski, Daniel; Ramírez-Safar, Yamile: *Wunsch und Wirklichkeit – Online-Umfrage zu Terminologieextraktions- und Terminologieverwaltungstools*. MDÜ- Mitteilungen für Dolmetscher und Übersetzer, 52(3):26-29, 2006.